



تحديد معامل التوازن بين غاز الرادون وبناته في خلية الرادون العيارية

Determination of equilibrium factor between radon and its daughter in the standard radon chamber

مشروع تخرج أعد لنيل درجة الماجستير في الفيزياء اختصاص الوقاية الإشعاعية وأمان المنابع المشعة

كلية العلوم – جامعة دمشق

إعداد

إنعام أنور الخضري

إشراف

د. محمود الغفري د. رياض شويكاني

دمشق 2009-2010

الفهرس

المحتويات	الصفحة
ملخص البحث	1
الفصل الأول النشاط الإشعاعي	4
1- لمحة تاريخية	5
2- قانون التفكك الإشعاعي وثابت التفكك	5
3- عمر النصف للتفكك الإشعاعي	6
4- النشاط الإشعاعي	6
5- مصادر الإشعاع	7
6- النشاط الإشعاعي الطبيعي	7
7- النشاط الإشعاعي الصنعي	7
8- التوازن الإشعاعي	8
6-1- التوازن الدائم	8
6-2- التوازن العابر	9
6-3- اللاتوازن	10
الفصل الثاني غاز الرادون	11
1- مقدمة	12
2- نظائر الرادون	12
3- الخواص الفيزيائية والكيميائية للرادون	13
4- مصادر الرادون	13
5- سلوك منتجات تفكك الرادون	14
6- الخطر الصحي للرادون	16
7- معامل التوازن (Equilibrium Factor (F))	18
8- واحدات قياس الرادون ومنتجات تفككه	21
9- طرائق قياس الرادون ومنتجات تفككه	22

أولاً: فعالة (Active) تحتاج إلى طاقة خارجية لتعمل	22
9-1-قياس الرادون ومنتجات تفككه بجمع العينات الآنية على فلتر	23
طريقة تسايفكلو المعدلة (The modified Tsivoglou)	23
استخدام المعادلات العامة لتحديد تركيز منتجات تفكك الرادون في الهواء بطريقة جمع العينات الآنية	25
طريقة كونستز المعدلة (The Modified Kusnetz)	26
طريقة رول (The Roll Method)	26
9-2- حجيرة التأين (Ionization Chamber)	27
9-3- طريقة الفلترين (Two Filter Technique)	27
منفعلة (Passive) لا تحتاج إلى طاقة خارجية لتعمل	28
9-4- كواشف الأثر النووي في الحالة الصلبة (Solid State Nuclear Tracks Detectors (SSNTDs)	28
9-5- طريقة الفحم الفعال (Activated Charcoal)	30
9-6- طريقة الإلكتريت أو نظام الإيبرم (E-PERM)	30
طرائق القياس المستخدمة في هذا العمل	30
الفصل الثالث القسم العملي	31
هدف البحث	32
الأدوات والأجهزة المستخدمة	32
الخطوات العملية والنتائج	36
أولاً تصميم وتنفيذ ودراسة خلية رادون خاصة بالتجارب	36
ثانياً معايرة وضبط الأجهزة والمنظومات المستخدمة في هذا البحث	37
التأكد من ثباتية قياسات جهاز الـــ AB5	37
تحديد مردود الكشف لنظم القياس المستخدمة	37
كواشف الأثر النووي	38
تقطيع الكواشف وترقيمها.	38
تحضير محلول الحك وضبط شروط الحك	38

عد الآثار المتشكلة على سطح كواشف CR-39	38
معايرة كواشف الأثر النووي	39
دراسة ترسب منتجات تفكك الرادون على سطح كاشف CR-39	39
المرحلة الأولى	41
المرحلة الثانية	41
المرحلة الثالثة	42
تصميم التجارب من أجل تغيير تركيز المعلقات في الهواء وقياس معامل التوازن	43
تحضير الخلية الخاصة وتعريض كواشف CR-39 وأخذ العينات الآنية	43
توليد المعلقات في هواء الخلية الخاصة	44
دراسة تأثير إضافة معلقات إلى الهواء	47
الغبار	47
الغضار	49
البودرة	50
النشاء	50
الأقطار	51
دراسة تأثير تشغيل مراوح على معامل التوازن	52
دون ترذيذ أي مادة في الخلية العيارية	52
ترذيذ مواد ذات أقطار مختلفة في الخلية الخاصة	53
دراسة تغير تركيز الرادون مع معامل التوازن	55
دراسة تأثير إضافة بخاخ الربو إلى الهواء وتغير معامل التوازن	58
الفصل الرابع الخاتمة والتوصيات	61
المراجع	65
الملحقات	68

الاهداء

إلى الوردة التي زينت طريق حياتي إلى من تسمو فوق الكلمة إلى اليد التي تنبض عطاءاً وحناناً أختي الغالية

أحلام

إلى الروح التي سكنت روحي نبع الحنان والأمل أمي الحبيبة

إلى القلب الذي سكن قلبي واليد التي أوقدت شعلة دربي زوجي الحبيب عزت

إلى ينبوع الرضى ومن علمني الصبر والكفاح والدي العزيز

إلى رفاق الأيام والأحلام ومن كانوا سنداً ودعماً في كل الأوقات إخوتي

إلى كل من أحبوني وشجعوني

إلى كل أفراد اسرتي وأصدقائي

إلى رفقة العمل والدراسة

كلمة الشكر

أتوجه بالشكر الكبير إلى الله عز وجل على ما منحنا إياه في هذه الحياة

تحية وتقدير لقسم الفيزياء في كلية العلوم ممثلاً بالدكتورة بيداء الأشقر

تقدير واحترام إلى كل من الدكتور رياض شويكاني المشرف المباشر للبحث على كل الجهود والدعم اللامتناهي الذي قدمه لإنجاح هذا البحث والدكتور محمود الغفري المشرف من جامعة دمشق على تعاونه ومساعدته لانجاز هذا العمل

أخص بالشكر والتقدير الأستاذ باسم الجربي على المساعدة والعطاء المتفاني والجهود الكريمة الطيبة والأستاذ خالد الطايل على كل المساعدات والجهود التي قدمها لانجاز هذا العمل والأستاذ غسان رجا على الخبرات التي قدمها والمساعدات القيمة

وأيضاً أخص بالشكر كل من قدم مساهمته في مخبر الرادون وقسم الوقاية والأمان على تعاونهم القدير

ملخص البحث

يعتبر غاز الرادون من حيث الجرعة الإشعاعية والتأثيرات الصحية على الناس الأكثر أهمية من بين النظائر المشعة الطبيعية. إذ تساهم منتجات تفكك الرادون قصيرة عمر النصف بالجزء الأكبر من الجرعة التي يقدمها غاز الرادون، لذا كان من المهم جداً دراسة سلوك منتجات تفكك الرادون في الهواء من حيث نشاطها وكميتها وتوازنها مع غاز الرادون. وعند حساب جرعة الاستنشاق (D) لشخص يتعرض لتركيز من غاز الرادون $C_0(Bq/m^3)$ لابد من تحديد معامل التوازن F وفقاً للعلاقة [1]:

$$D = C_0 (0.17 + 9F) \qquad (I)$$

يرتبط معامل التوازن F بـــ C_1،C_2،C_3 تركيز منتجات تفكك الرادون ^{218}Po، ^{214}Pb، ^{214}Bi على الترتيب وذلك حسب العلاقة [1]:

$$F = \frac{0.105\, C_1 + 0.516\, C_2 + 0.380\, C_3}{C_0} \qquad (II)$$

من الشائع أن يتم تحديد معامل التوازنF بجمع عينات آنية على فلتر عبر ضخ حجم من الهواء ليقاس تعداد جسيمات ألفا المتراكمة على سطح الفلتر، توفر هذه الطريقة معلومات عن الرادون ومنتجات تفككه لحظة سحب العينة فقط، لذلك فهي غير مفيدة من أجل مراقبة بيئة العمل كما أنها غير عملية عند وجود مساحات عمل واسعة وأعداد كبيرة من العمال. وبالتالي كان لابد من استخدام كواشف تراكمية مثل كواشف الأثر النووي الصلبة.

لا يمكن لكواشف الأثر النووي أن تعطي تقديراً مباشراً لتركيز منتجات تفكك الرادون ومعامل التوازن.

لذلك هدف هذا البحث إلى قياس معامل التوازن من خلال تحديد تركيز منتجات تفكك الرادون وذلك بالطريقة الفعالة (الآنية) والطريقة المنفعلة (التراكمية) باستخدام كواشف الأثر النووي في الحالة الصلبة SSNTDs ومحاولة إيجاد علاقة بين كلتا الطريقتين.

يتأثر معامل التوازن بالعديد من العوامل الفيزيائية والمتغيرات البيئية مثل الرطوبة، معدل التهوية، تركيز غاز الرادون، تركيز وحجم المعلقات الهوائية.....الخ.

صنعت خلية خاصة محكمة الإغلاق يمكنها الاحتواء على غاز الرادون ضمن شروط متغيرة متحكم بها من أجل دراسة معامل التوازن F في حالات مختلفة. أجريت القياسات داخل هذه الخلية بعد ضخ كمية معروفة من الرادون إليها.

أجريت القياسات الآنية باستخدام طريقة تسايفكلو المعدلة إضافة لاعتماد معادلات عامة تساعد في حساب تركيز منتجات تفكك الرادون وذلك من خلال تمرير حجم من هواء الخلية الخاصة عبر فلتر ميلي بور قادر على التقاط المعلقات، أما لحساب تركيز الرادون فقد أخذت عينة هواء باستخدام خلية ومضان (لوكس).

استخدمت ثلاث مجموعات من كواشف CR-39 بحيث تكون المجموعة الأولى توضع مباشرةً على سطح حجيرات التعريض البلاستيكية، والثانية داخل الحجيرات المزودة بفلتر ورقي يمكنه إيقاف منتجات تفكك الرادون الصلبة، والثالثة تثبت شاقولياً على السطح الخارجي لحجيرة التعريض. بذلك يكون تركيز الآثار على الكاشف الداخلي يعبر عن تركيز غاز الرادون أما تركيز آثار الكاشف الخارجي فيعبر عن غاز الرادون ومنتجات تفككه مصدرات جسيمات ألفا والتي كانت تتغير تبعاً لتغير معامل التوازن.

تم في هذا العمل تغيير كل من تركيز غاز الرادون وتركيز ونوع المعلقات الموجودة داخل الخلية الخاصة التي تم تصميمها ثم درس معامل التوازن في كل حالة، حيث تم توليد معلقات هوائية بترذيذ مواد مختلفة داخل الخلية بعد ضخ كميات من غاز الرادون.

بينت النتائج أنه بشكل عام تتغير قيمة معامل التوازن مع تغير كل من تركيز غاز الرادون وتركيز المعلقات الهوائية. وقد كانت قيمة معامل التوازن تختلف باختلاف مواد المعلقات الهوائية المولدة، حيث تبين أن مادة الغبار الأكثر أهمية بين المواد المستخدمة إذ ارتفعت قيمة معامل التوازن باستخدامها إلى ($F=0.7$).

كان لمادة بخاخ الربو التأثير الأكبر على معامل التوازن حيث حققت حالة التوازن التام بين غاز الرادون ومنتجات تفككه. أما باقي المواد فلم تكن ذات تأثير هام على قيمة معامل التوازن.

أظهرت كواشف الأثر تزايداً خطياً لتركيز الآثار بزيادة تركيز الرادون وذلك في كل الحالات التي استخدمت فيها هذه الكواشف.

ظهر وجود ارتفاع في قيم تركيز الآثار على كواشف CR-39 المثبتة على الجدار بشكل شاقولي مقارنة مع مجموعة الكواشف الخارجية المتوضعة أفقياً على سطح حجيرة التعريض، كما لوحظ أن تشغيل المروحة أدى إلى انخفاض في قيمة معامل التوازن بشكل كبير، كما كان للمروحة أيضاً أهمية في تقليل الفرق بين تركيز الآثار على الكواشف الشاقولية والأفقية. مما دل على أن عملية ترسب منتجات تفكك الرادون عائدة في أغلبها إلى قوى كهربائية وليس لعوامل جذب ثقالية.

كان من الصعب جداً إيجاد طريقة لدراسة معامل التوازن باستخدام كواشف الأثر النووي (SSNTDs) وخاصة في حالات التركيز المنخفض لغاز الرادون وعليه لم يتم إيجاد طريقة دقيقة لدراسة معامل التوازن في هواء الجو المحيط باستخدام كواشف الأثر النووي لأن تركيز غاز الرادون في الهواء الطلق منخفض جداً بالمقارنة مع الأوساط الأخرى التي تم اختبارها.

الفصل الأول
النشاط الإشعاعي

الفصل الأول: النشاط الإشعاعي

1- لمحة تاريخية[2]:

وجدَ العلماءُ منذُ زمنٍ بعيدٍ أنَّ بعضَ المواد الموجودةَ في الطبيعة تكون غيرَ مستقرةٍ، وتخضعُ لتغيرٍ تلقائيٍ في البنية يؤدي إلى انبعاثِ أشعةٍ نوويةٍ مما يجعلها أكثرَ استقراراً. وبهذا تعتبرُ هذهِ المواد مشعةً ويمكنُ أن تعتبرَ مصادر إشعاعية.

أولَ من اكتشفَ هذهِ الظاهرةَ العالمُ الفرنسي هنري بيكريل Henri Becquerel عام 1896 عندما لاحظَ تأثر ألواح فوتوغرافية بالإشعاعِ المنبعثِ من أملاحِ اليورانيوم دونَ أن يؤثرَ عليهِ أي مؤثر خارجي.

وفي عام 1898 اكتشفتْ ماري كوري، وزوجها بيير كوري عنصري البولونيوم والرادون.

وسرعانَ ما تمَّ تحديدُ ثلاثةِ أنواعٍ منَ الإشعاعِ الصادرِ عنِ النشاطِ الإشعاعي هي إشعاع ألفا (α) الذي بيَّنَ رذرفورد Rutherford عام 1909 أنهُ عبارة عن نوى الهليوم He، إشعاع بيتا (β) الذي بيَّنَ بيكريل عام 1900 أنه عبارة عن إلكترونات، وإشعاع غاما (γ)الذي بيَّنَ رذرفورد عام 1914 أنه عبارة عن إشعاع كهرطيسي.

وتوالت بعدَ ذلكَ الاجتهادات الفيزيائية والإشعاعية إلى أن أصبحَ الإشعاعُ من أهمِّ الظواهرِ التي يتحدثُ عنها النَّاس ومن الأمورِ التي لا غنى عنها في حَياتِنا المعاصرة [2].

2- قانون التفكك الإشعاعي وثابت التفكك:

يتم التفكك الإشعاعي(**radioactive decay**) للمادة المشعة ضمن عملية فيزيائية وإحصائية معقدة نوعاً ما، ولذا من الصعب جداً التقدير الدقيق لزمن اللازم لتفكك ذرةَ محددة. فيما تدل التجارب أن هذا التفكك الإشعاعي يخضع لقانون أسي يعرف بقانون التفكك الإشعاعي.

تظهر العلاقة (1-1) العلاقة الأسية التي تصف هذا القانون:

$$N = N_0 e^{-\lambda T} \qquad (1-1)$$

حيثُ N_0 العدد الأساسي للنوى المتوفرة، λ ثابت التفكك(**decay constant**)، T الزمن المنقضي، و N عدد النوى المتبقية بعد انقضاء الزمن T.

لكل نكليد مشع ثابت تفكك محدد ولا يتغير بتأثير التحولات الكيميائية للنكليد [4],[3].

3- عمر النصف للتفكك الإشعاعي:

يعرف عمر النصف على أنه الفترة الزمنية التي ينخفض فيها عدد النوى المشعة إلى النصف أي:

$$N\left(T_{\frac{1}{2}}\right) = \frac{N_0}{2} = N_0\, e^{\lambda T_{\frac{1}{2}}} \qquad (2-1)$$

وبالتالي يمكن أن نحصل على العلاقة بين ثابت التفكك وعمر النصف (half life):

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{Ln(2)}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \qquad (3-1)$$

4- النشاط الإشعاعي:

هو معدل التفكك الإشعاعي في عينة مشعة ما، ويمثل المقدار الإشعاعي الأكثر أهمية في قياس العينات المشعة. فإذا كان لدينا عدد من النوى المشعة N فإن معدل تفكك هذه النوى، أي نشاطها الإشعاعي:

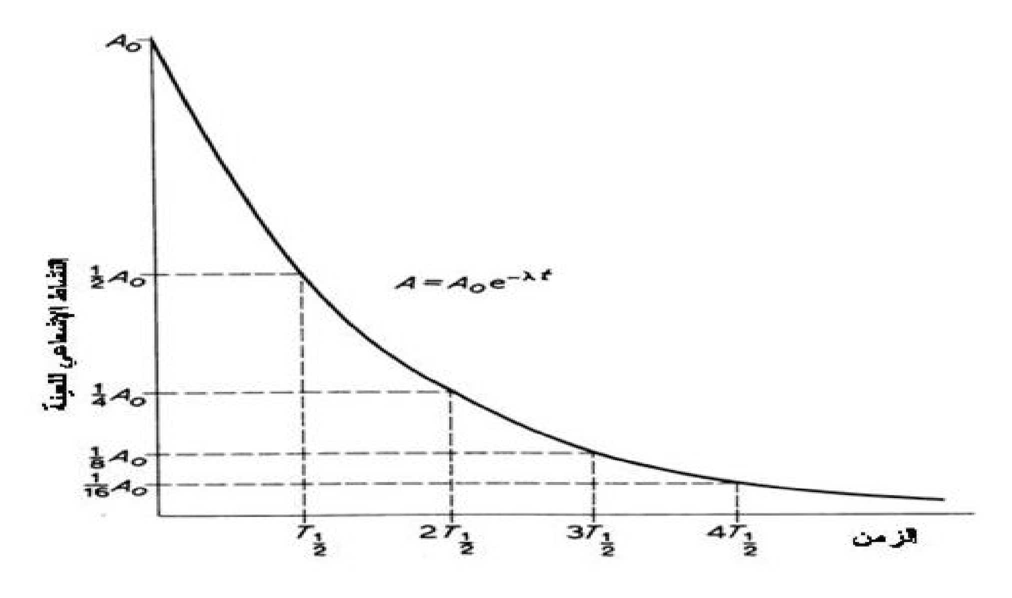
$$A = N\,\lambda \qquad (4-1)$$

وبالتالي فإن تغير النشاط الإشعاعي مع الزمن يخضع لقانون مماثل لقانون التفكك الإشعاعي:

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} \qquad (5-1)$$

حيث A_0 النشاط الإشعاعي عند البدء و $A(t)$ النشاط الإشعاعي بعد مضي زمن قدره t.

الشكل (1-1) يبين تغير النشاط الإشعاعي بمرور الزمن.



الشكل (1-1) تغير النشاط الإشعاعي بمرور الزمن

يقاس النشاط الإشعاعي بواحدة البيكريل (Bq)، وتكافئ نشاطاً إشعاعياً قدره تفكك واحد بالثانية. كما يستخدم أيضاً الكوري (Ci) كواحدة للنشاط الإشعاعي. يعرف الكوري على أنه النشاط الإشعاعي لغرام واحد من الراديوم–226 ولكنه الآن يعادل $3.7*10^{10}$ تفكك في الثانية أي:

$$1\ Ci = 3.7 \times 10^{10}\ Bq$$

5- مصادر الإشعاع

تقسم مصادر الإشعاع إلى قسمين رئيسيين، هما الإشعاع الطبيعي والإشعاع الصناعي الناتجين عن تفكك النظائر المشعة تلقائياً بشكل طبيعي أو بوجود مؤثر خارجي، وما يرافقه من انبعاث لجسيمات نووية مثل جسيمات ألفا وبيتا أو أشعة كهرومغناطيسية كأشعة غاما، بالإضافة إلى الأشعة السينية.

النشاط الإشعاعي الطبيعي:

يتعرض كل ما هو موجود على سطح الأرض باستمرار لتأثير الإشعاعات المؤينة الآتية من مصادر طبيعية كالأشعة الكونية ومن العناصر المشعة الأرضية البدائية وما يتولد منها.

يعود أصل العناصر المشعة البدائية (التي يوجد منها أربع سلاسل) إلى اللحظة التي خلق فيها الكون (وهذا هو سبب تسميتها بالبدائية). يوضح الجدول (1-1) الخواص الأساسية للسلاسل الأربعة الموجودة للنشاط الإشعاعي الطبيعي[4].

الجدول(1-1) الخواص الأساسية لسلاسل النشاط الإشعاعي الطبيعي.

السلسلة	النواة الأصل	عمر النصف بالسنين	الناتج النهائي المستقر
ثوريوم	^{232}Th	1.39×10^{10}	^{208}Pb
نبتونيوم	^{237}Np	2.25×10^{6}	^{209}Bi
يورانيوم	^{238}U	4.51×10^{9}	^{206}Pb
أكتينيوم	^{235}U	7.07×10^{8}	^{207}Pb

النشاط الإشعاعي الصنعي

استطاع الإنسان إنتاج العديد من النظائر المشعة من خلال إثارة الذرات لتصبح مشعة باستخدام إحدى الطرائق التالية:

- التنشيط بالأسر النيوتروني أو بالنوى المشحونة

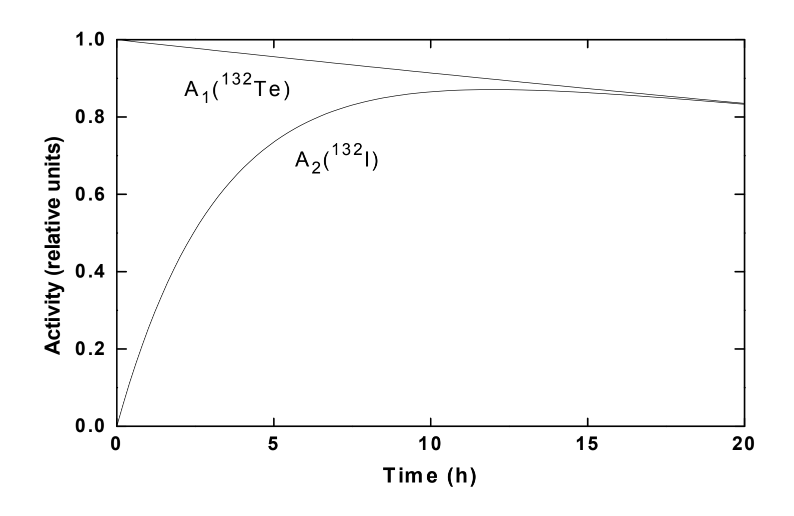
- عمليات الانشطار النووي التي تحدث في المفاعلات
- إنتاج أشعة الكبح.
- المسرعات.

6- التوازن الإشعاعي:

يتضح من سلاسل التفكك الإشعاعي الأشكال(5-1)، (5-2)، (5-3) في الملحق (5)، أنه من الممكن أن يتم تشكل المادة المشعة وتفككها جنباً إلى جنب مع المادة الأصل. في هذه الحالة لا تكفي العلاقة الأسية البسيطة لوصف تطور النشاط الإشعاعي بمرور الزمن لذا لابد من التطرق إلى مفهوم التوازن.ونميز الأنواع التالية للتوازن الإشعاعي بين المادة الأصل والمادة النتاج .[3],[4]

6-1 التوازن الدائم

يحدث التوازن الدائم عندما يكون عمر النصف للمادة الأصل طويل جداً بالمقارنة مع عمر النصف للمادة النتاج، عند حدوث التوازن الدائم يصبح.النشاط الإشعاعي للمادة النتاج يكافئ النشاط الإشعاعي للمادة الأصل. يظهر الشكل (1-2) تغير النشاط الإشعاعي للمادتين الأصل والنتاج بمرور الزمن في مثال على التوازن الدائم [4],[3].



الشكل (1-2) حالة التوازن الدائم

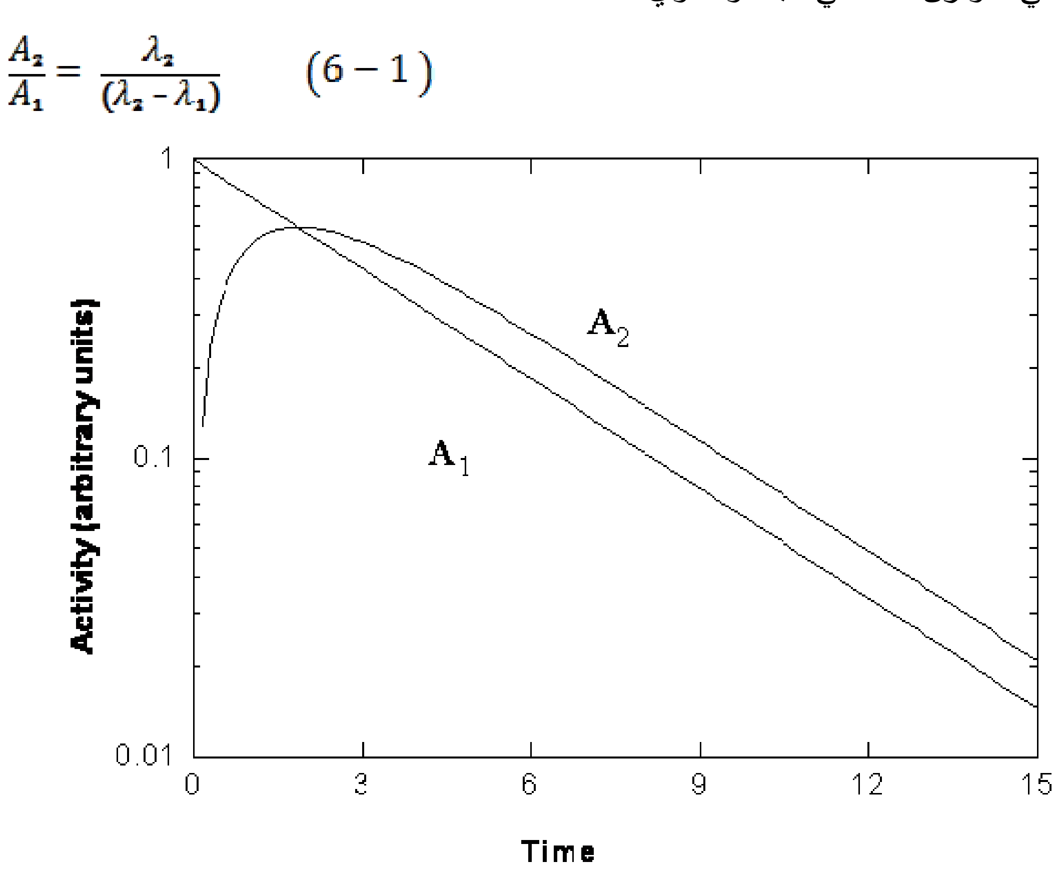
من الأمثلة على التوازن الدائم: في التفكك ^{226}Ra (1620 y) إلى ^{222}Rn (92h) يتم بلوغ التوازن الدائم التقريبي بعد حوالي 23 يوم. وكذلك يحصل التوازن الدائم بين غاز الرادون

ومنتجات تفككه قصيرات عمر النصف ويتم بلوغ التوازن الدائم بعد 3hr. يشترط في حالات التوازن التي يكون الرادون طرفاً فيها إحكام الإغلاق لمنع تطايره.

2-6 التوازن العابر

يحدث التوازن العابر عندما يعادل عمر النصف للمادة الأصل فقط بضع أضعاف عمر النصف للمادة النتاج. لا يبلغ النشاط الإشعاعي للمادتين الأصل والنتاج في هذا التوازن قيماً ثابتة بمرور الزمن، ولكن نوى المادة النتاج تتفكك فعلياً بنفس ثابت تفكك نوى الأصل. يظهر الشكل (3-1) تغير النشاط الإشعاعي للمادتين الأصل والنتاج بمرور الزمن في مثال على التوازن العابر. نلاحظ في الشكل (3-1) أن نشاط النتاج يزداد ويستمر في الازدياد إلى أن يصبح أكبر من الأصل ويبلغ قيمة عظمى بعدئذ يتناقص ويتبع نشاط الأصل، وتكون نسبة نشاط النتاج إلى نشاط الأصل في التوازن الانتقالي ثابتة وتساوي:

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{\lambda_2}{(\lambda_2 - \lambda_1)} \qquad (6-1)$$

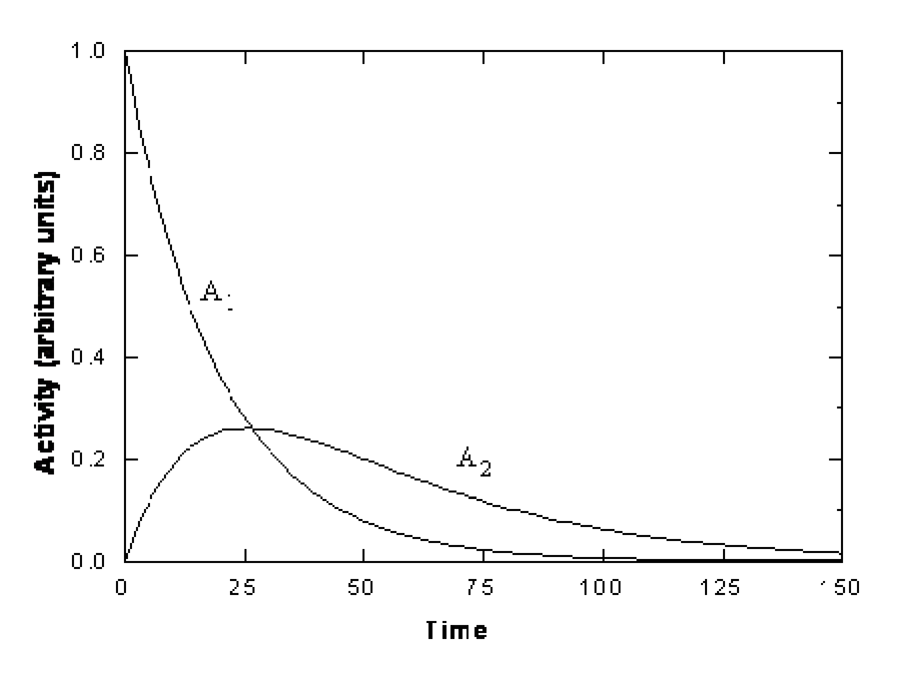


الشكل (3-1): حالة التوازن العابر

يحصل التوازن العابر عند تفكك ^{214}Pb (27min) إلى ^{214}Bi (19min)

3-6 اللاتوازن:

في هذه الحالة تتفكك فيها النواة الأصل بسرعة تفوق سرعة تفكك النواة النتاج. في هذه الحالة تتفكك النوى الأصل بسرعة، بينما يزداد النشاط الإشعاعي لنوى النتاج حتى يصل إلى قيمة أعظمية يتناقص بعدها بشكل أسي، ويحدث ذلك عندما يصبح عدد النوى الأصل صغير ومهمل نسبياً. يظهر الشكل (1-4) تغير النشاط الإشعاعي للمادتين الأصل والنتاج بمرور الزمن في مثال على اللاتوازن.



الشكل (1-4):حالة اللاتوازن

مثال على اللاتوازن في تفكك النكليد المشع الصنعي ^{210}Pb (22y) إلى^{214}Po (164µsec)

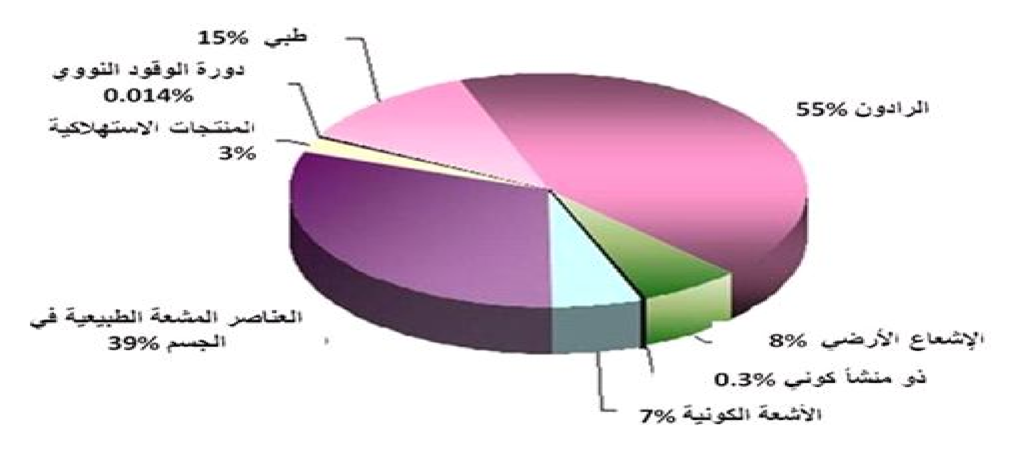
الفصل الثاني

غاز الرادون

الفصل الثاني: غاز الرادون

1- مقدمة

يعود القسم الأكبر من تعرض الإنسان للإشعاع الطبيعي إلى غاز الرادون ومنتجات تفككه قصيرة عمر النصف الشكل (2-1) [5]. وهذا ما يفسر وجود العديد من الأبحاث التي تتناول دراسة هذا الغاز.



الشكل (2-1) خريطة الجرعة الدولية كما أقرتها ICRP

الرادون هو غاز مشع ذو منشأ طبيعي ينتج من تفكك الراديوم المشع. يعود هذا العنصر إلى واحدة من سلاسل النشاط الإشعاعي الطبيعي الموضحة في الأشكال (5-1) (5-2) (5-3) في الملحق(5).

2- نظائر الرادون:

للرادون ثلاثة نظائر هي:

a. **الأكتينون ^{219}Rn**: ينتمي إلى سلسلة الأكتينيوم، يعتبر وجود هذا النظير نادراً بالمقارنة مع النظيرين الآخرين حيث أن تركيز ^{235}U في الصخور والأتربة أقل من (1%) من تركيز ^{238}U، هذا بالإضافة إلى أن عمر النصف للأكتينون قصيرة جداً (4 ثوان) مما يفسر عدم إمكانية قياس تركيز هذا النظير في الهواء.

b. **الثورون ^{220}Rn**: ويعود هذا النظير إلى سلسلة الثوريوم وهو الأكثر وفرة بين النظائر الثلاثة التي تتحرر من الأرض، لكنه يختفي بسرعة من الجو نتيجة قصر عمر النصف له (55 ثانية).

c. **الرادون ^{222}Rn**: ينتمي إلى سلسلة اليورانيوم 238، إن عمر النصف له هو الأطول بين النظائر الثلاثة (3.82 يوم)، ومع أن ^{222}Rn ينبعث من التربة بكمية أقل بمائة مرة من ^{220}Rn فإن عمر النصف الطويل نسبياً يمنحه توزعاً كبيراً في الهواء [6].

سيطلق اسم الرادون أينما ورد في هذا البحث على النظير ^{222}Rn.

3- الخواص الفيزيائية والكيميائية للرادون:

ينتمي الرادون إلى عمود الغازات النبيلة أو الخاملة في الجدول الدوري للعناصر.حيث يعتبر الرادون خامل كيميائياً، لذلك يمكنه أن ينتشر بحرية عبر المواد النفوذة للغازات.

الرادون غاز عديم اللون والرائحة ولا يمكن كشفة بالحواس البشرية، لذلك يعتمد في كشفه بشكل رئيسي على كشف الأشعة المرافقة لتفككه وتفكك منتجات تفككه. يشكل الرادون حوالي 1 من 10^{20} من هواء الجو فهو لا يشكل طبقة قريبة من سطح الأرض إنما يختلط تقريباً بشكل متجانس مع الهواء الداخلي للمنازل.

ينصهر الرادون عند درجة حرارة (70-) درجة مئوية ويغلي عند (60-) درجة مئوية. ومن الجدير بالذكر، أن الرادون متوسط الانحلال في الماء وبعض السوائل الأخرى. كما يعتبر الفحم الفعال (Activated Charcoal) ماص جيد للرادون لذلك غالباً ما يستعمل من أجل استخراج الرادون من الماء ومن أجل قياس الرادون المعلق في الهواء.

4- مصادر الرادون:

يتواجد الرادون بشكل طبيعي تقريباً في كل مكان كالراديوم المنتشر خلال قشرة الأرض.إن المصدرين الأساسيين للرادون في الوسط الخارجي هما التربة والصخور، والماء.

a. **التربة والصخور:**

إن حوالي 80% من غاز الرادون المنبثق إلى الوسط الخارجي ينتج عن الطبقة العليا للأرض. وبالطبع فإن وجود ال^{238}U وبالتالي ال^{226}Ra هو السبب في إصدار الرادون في التربة. وتختلف كمية الراديوم واليورانيوم من مكان إلى أخر حسب الطبيعة الجيولوجية.

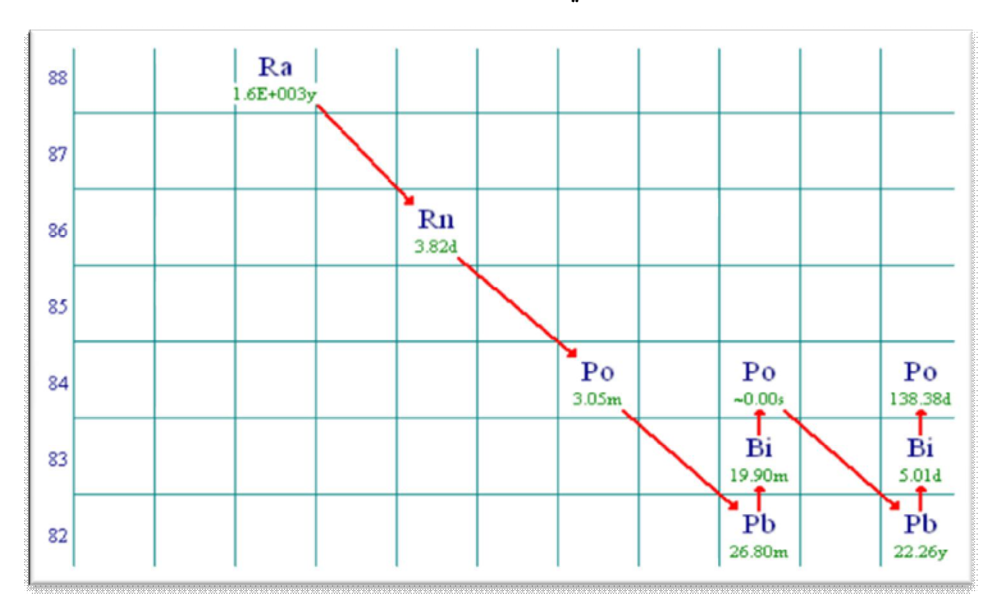
b. **الماء:**

يعتبر الرادون متوسط الانحلال في الماء، وتزداد انحلاليته بنقصان درجة حرارة الماء. عندما يسخن الماء أو يحرك فإن كمية كبيرة من الرادون تنفلت وتنطلق إلى الوسط الخارجي تعتمد كمية الرادون المنحلة في الماء على عاملين هما:

- المواصفات الجيولوجية المحلية حيث يستخرج الماء.
- نوع الماء المستخدم.

5- منتجات تفكك الرادون:

يتحرر الرادون من مصادره إلى الهواء المحيط ويتفكك بإصدار ألفا معطياً الـــ ^{218}Po والذي يتفكك بدوره إلى الـــ ^{214}Pb ثم الـــ ^{214}Bi ثم الـــ ^{214}Po وهذه المنتجات قصيرة عمر النصف حيث عمر النصف لكل منها أقل من 30min، ثم تأتي المنتجات طويلة عمر النصف وهي ^{210}Pb، ^{210}Bi و ^{210}Po. ويعتبر ^{210}Pb حاجز السلسلة الذي تتوقف عنده الحسابات نتيجة عمر النصف الطويل له، كما هو مبين في الشكل (2-2).



الشكل (2-2) منتجات تفكك الرادون

ترتبط منتجات تفكك الرادون (وهي معادن ثقيلة) مع العوالق في الهواء أو تبقى حرة. ولا يزال غامضاً العديد من آليات تفاعلها مع جسيمات الغبار الجوي، ولكن يمكن القول بأنه بعد تفكك الرادون تتفاعل منتجات تفككه المشحونة خلال أجزاء من الثانية (<1s) مع جزيئات الغازات وبخار الماء المحيط لتعدل شحنتها بحيث تُكَوِّنُ جزيئات قطرها nm (0.5-5) (الشكل (2-3)). ترتبط بعد ذلك النوى المشعة مع معلقات الهواء المحيط خلال sec (1-100) متحولة إلى معلقات مشعة [7]. تمتلك منتجات تفكك الرادون الحرة (غير المعلقة أو غير الملتصقة) حركية عالية، فسرعان ما تلتصق هي الأخرى بسطوح المعلقات الموجودة في الهواء المحيط. كما يمكن لهذه المنتجات أن تبقى حرة (غير مرتبطة بالمعلقات الهوائية). بشكل عام يختلف

سلوك منتجات تفكك الرادون من حيث توضعها في الرئة بشكل كبير في كلا الحالتين (الالتصاق أو عدم الالتصاق) [9],[8].

هناك عدد من العوامل الأساسية الهامة التي تؤثر على سلوك منتجات تفكك الرادون في الهواء:

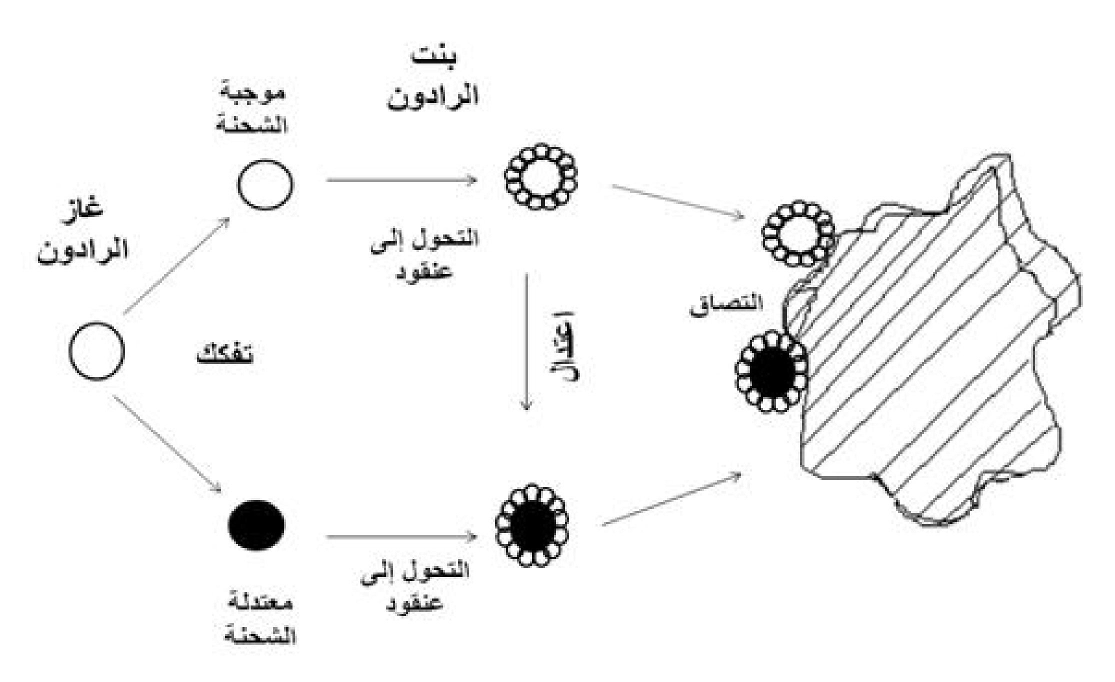
1- تحول البنت إلى عنقود (cluster).

2- التحول إلى معلقات هوائية مشعة بالالتصاق (attached).

3- الارتداد عن سطح الجزيئات

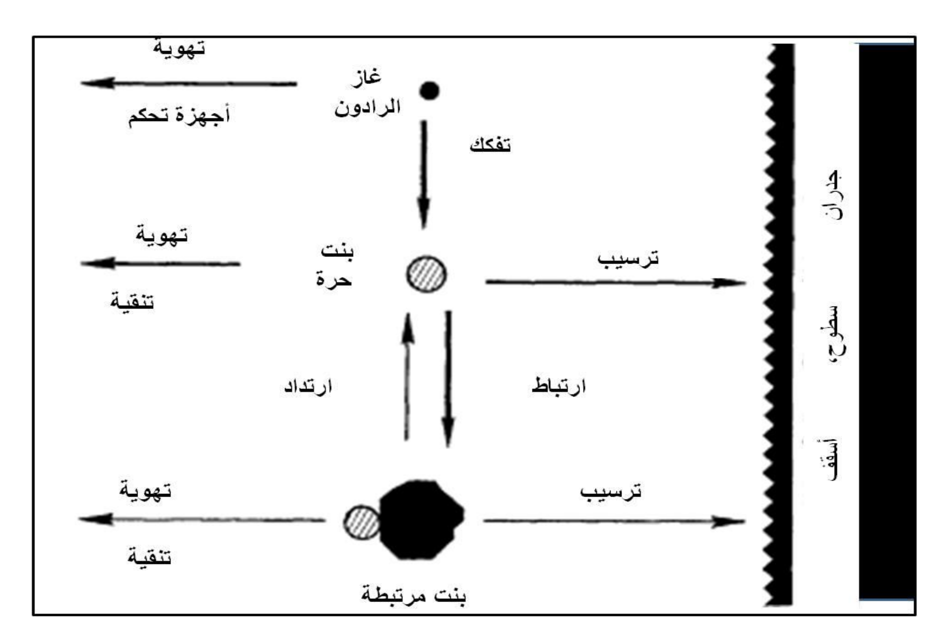
4- الترسب على السطوح والجدران

بدون المعرفة الكافية عن هذه العمليات لا يمكن فهم سلوك وحساب تركيز منتجات تفكك الرادون الحرة أو المرتبطة يوضح الشكل (2-3) التحولات الأساسية لمنتجات تفكك الرادون.



الشكل (2-3) التحولات الأساسية لمنتجات تفكك الرادون في الهواء (المنتجات الحرة والمرتبطة)

كما يبين الشكل (2-4) العمليات الأساسية التي تؤثر على نشاط الرادون ومنتجات تفككه المرتبطة وغير المرتبطة في الهواء بعد التوازن.



الشكل (2-4) العمليات الأساسية التي تؤثر على نشاط الرادون ومنتجات تفككه بعد التوازن

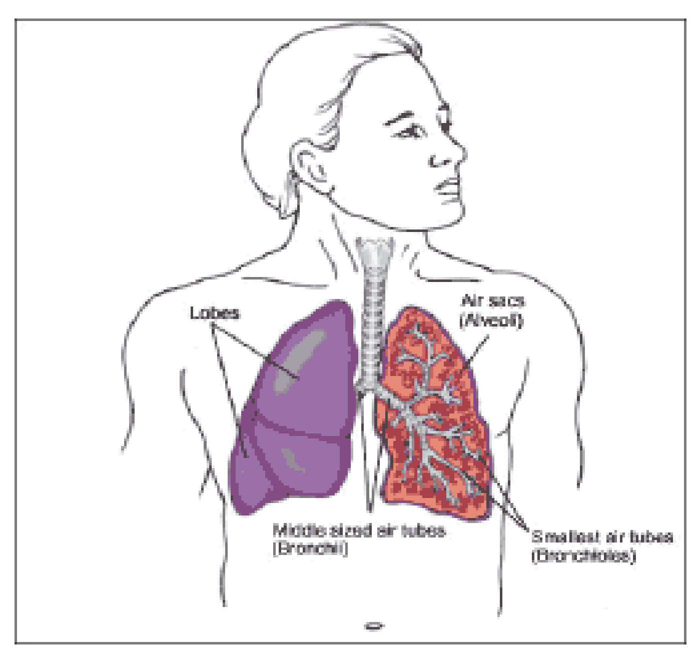
مثال: يكون البولونيوم ^{218}Po الذي يتشكل كأيون مرتد مشحون بشحنة ايجابية عادةً نظراً لفقدانه إلكترون مداري في الحركة الارتدادية فسرعان ما يرتبط بالمعلقات الهوائية ويشكل عناقيد مشعة. يماثل الرصاص ^{214}Pb في تصرفه البولونيوم ^{218}Po لأنه يتكون كايون مرتد أيضاً. فإذا تفكك البولونيوم ^{218}Po المرتبط مع المعلقة فإن ذرة الرصاص ^{214}Pb المرتد إما يدخل في عمق المعلقة أو ينطلق منها وذلك حسب اتجاه الارتداد [10]. يحدث الأمر نفسه بالنسبة لمنتجات تفكك التفكك الأخرى

تعتبر نسبة تركيز منتجات تفكك الرادون إلى تركيز الرادون في جو المناجم هامة من الناحية الإشعاعية، وتتبدل هذه النسبة بسرعة حسب التهوية وتدفق الهواء وتتغير من وقت لآخر وحسب الموقع. وتكون هذه النسبة صغيرة في الهواء الجديد بينما تصل إلى الواحد في الهواء القديم [10].

6- الخطر الصحي للرادون:

تكمن الآثار الصحية للرادون في جسيمات ألفا الصادرة عنه وعن منتجات تفككه. عند اندخال الرادون أو منتجات تفككه إلى الرئتين عن طريق الاستنشاق تلتصق منتجات تفكك الرادون على جدران جهاز التنفس وتترسب بحيث يمكن أن تتواجد في مستويات دقيقة من تشعبات القصبات الهوائية حتى أنها يمكن أن تصل للأسناخ الهوائي وبالتالي التحلل في الدم وذلك بحسب أقطار المعلقات الحاملة لهذه المنتجات تفكك. تتفكك منتجات تفكك الرادون حيث تترسب مطلقة جسيمات إلفا التي تمتلك طاقة كافية لتخترق النسج وتصل إلى القسم الداخلي للخلايا وتخريب هذه النسج وذلك في حال عدم وجود طبقات مخاطية واقية تغلف جدران

النسج الحية. أما الرادون فغالباً ما يتم اطراحه أثناء عملية التنفس الطبيعية وذلك لأن عمر النصف الفيزيائي للرادون طويل نسبياً (3.82d) مقارنة مع عمر النصف البيولوجي (الزمن اللازم لكي تنخفض عدد الذرات إلى نصف قيمتها الابتدائية عن طريق امتصاصه في العمليات البيولوجية.(أنظر الملحق (1)). تقدم منتجات تفكك الرادون الصلبة ذوات أعمار النصف القصيرة جرعة إشعاعية تزيد 100 مرة على ما يسببه إشعاع الرادون وحده كما هو مبين في الشكل (2-5) [1].



الشكل (2-5) تضرر الرئة نتيجة استنشاق منتجات تفكك الرادون

إن الجرعة التي يقدمها الرادون ومنتجات تفككه عن طريق جهاز الهضم صغيرة جداً حيث وجود الطعام في المعدة ولو بسماكة لا تتجاوز 1.5 mm يمكن أن يوقف معظم جسيمات ألفا الصادرة عن تفكك الرادون ومنتجات تفككه كما ان جهاز الهضم في بالكامل تقريباً يحوي أغشية واقية مبطنة للخلايا الحية. ولقد وجد أن عمر النصف البيولوجي للرادون هو 30 دقيقة عندما تكون المعدة فارغة و70 دقيقة عندما تكون المعدة ممتلئة. ولا توجد حتى الآن أي إثباتات تربط ابتلاع الرادون وزيادة الحالات السرطانية المعدية [11],[12].

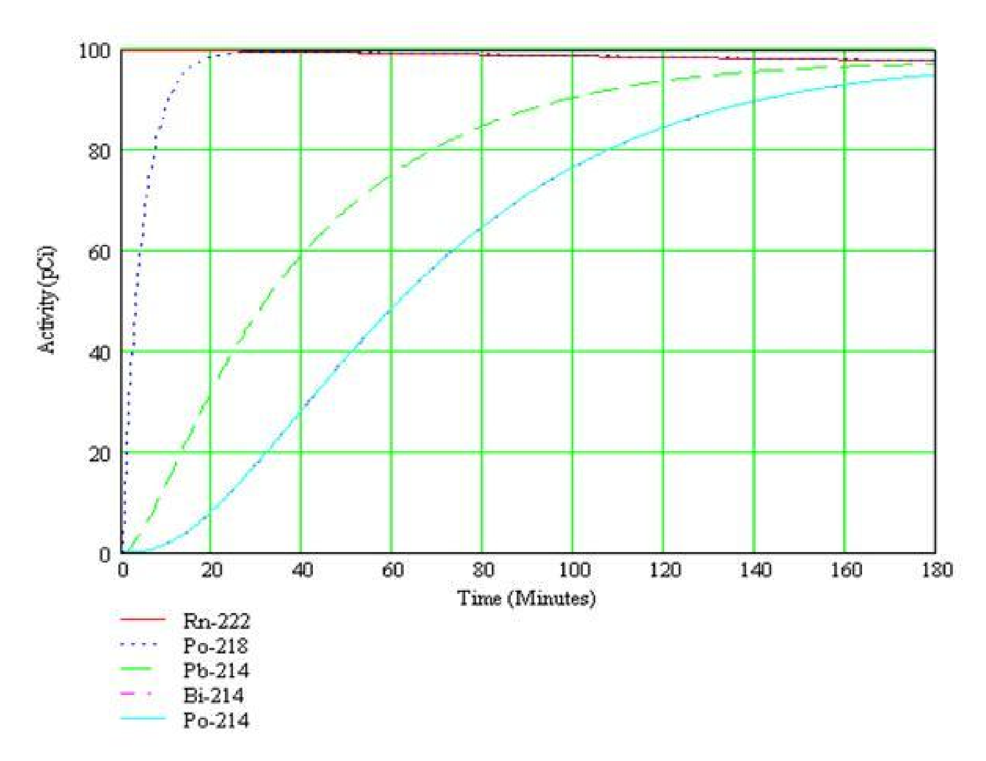
وقد أوضحت الدراسات أن الجرعة التي تتلقاها الرئة أكبر من 2 إلى 3 مرات من تلك التي تتلقاها المعدة نتيجة الهضم [14],[13].

يعتمد قياس الجرعة الإشعاعية التي تتلقاها الرئة على تقدير الجرعة بنمذجة الحوادث المتعاقبة من استنشاق وترسب وتخلص واحتفاظ وتفكك للنظائر وعلى معرفة تركيز منتجات تفكك الرادون في الهواء المستنشق. ولقد اقترحت ICRP ومنذ أكثر من 30 عاماً نموذجاً لتقدير

جرعة الرئة من استنشاق منتجات تفكك الرادون تم اعتبار القصبات في هذا النموذج على أنه العضو الحرج، ومع ذلك فإن القيم المحسوبة لجرعة منطقة القصبات متفاوتة بأكثر من مرتبة بسبب النماذج المتباينة وقيم المتحولات المختلفة المستخدمة في هذه النماذج. إلا أن معظم النماذج تتفق بأن الجرعة التي تتلقاها نسيج القصبات من جسيمات ألفا الناتجة عن استنشاق منتجات تفكك الرادون أكبر من الجرعة التي يتلقاها نسيج الرئة من هذه الجسيمات بمعامل يتراوح بين 20-80 مرة، وتتفق هذه النتيجة الحسابية مع الدراسات على عمال المناجم المصابين بالسرطان [7].

7- معامل التوازن (Equilibrium Factor (F)):

لنفرض أننا وضعنا 100pCi من الرادون في حيز محصور وكانت القيمة البدائية لمنتجات تفككه هي الصفر، سيبدأ تركيز منتجات تفكك الرادون داخل هذا الحيز بالازدياد حتى تصل إلى التوازن بنشاط يساوي تقريباً 100pCi لكل من منتجات تفكك الرادون قصيرة عمر النصف. يبين الشكل (2-6) تزايد تركيز منتجات تفكك الرادون كنتيجة لوضع 100pCi من الرادون في حيز مغلق.



الشكل (2-6) التوازن بين الرادون ومنتجات تفككه

ولما كانت منتجات تفكك الرادون الصلبة تلتصق على الجدران والمفروشات في المنازل فإن تركيزها المقاس يكون أقل من ذلك المحسوب لنفس الكمية في حالة التوازن الدائم. يعرف

معامل التوازن F بأنه النسبة بين التركيز المكافئ للرادون في حالة التوازن مع منتجات تفككه إلى تركيز الرادون الحقيقي [15]:

$$F = \frac{C_e}{C_0} \qquad (1-2)$$

حيثC_0 تركيز الرادون الحقيقي.

C_e تركيز المكافئ للرادون في حالة التوازن مع منتجات تفككه والتي تمتلك نفس طاقة ألفا الكامنة (U) التي يعطيها خليط غير متوازن من المنتجات تفكك في الهواء.

يعطى تركيز طاقة ألفا الكامنة كما يلي:

$$U = \sum_{j=1}^{4} n_j E_j \qquad (2-2)$$

حيث: n_j عدد الذرات بوحدة الحجم.، E_j طاقة ألفا الكامنة للنواة j.

تعطى C_j بالعلاقة:

$$C_j = n_j \lambda_j \qquad (3-2)$$

بتعويض (2-3) في (2-2) نجد:

$$U = \sum_{j=1}^{4} \frac{C_j}{\lambda_j} E_j \qquad (4-2)$$

بالعودة إلى سلسلة تفكك الرادون [16]:

$^{218}_{84}\mathbf{Po}\ (\alpha - \lambda_1 = 3.788 \times 10^{-3}\ s^{-1})$

$^{214}_{82}\mathbf{Pb}\ (\beta - \lambda_2 = 4.311 \times 10^{-4}\ s^{-1})$

$^{214}_{83}\mathbf{Bi}\ (\beta - \lambda_3 = 5.864 \times 10^{-4}\ s^{-1})$

$^{214}_{84}\mathbf{Po}\ (\alpha - \lambda_4 = 4.234 \times 10^{3}\ s^{-1})$

وباعتبار طاقات ألفا الكامنة للمنتجات تفكك هي:

$$E_1 = E_{\alpha 1} + E_{\alpha 2}$$
$$E_2 = E_3 = E_4 = E_{\alpha 4}$$

$$E_{\alpha 1} = 6.0026\ MeV \quad , \qquad E_{\alpha 4} = 7.6870\ MeV$$

المعادلة (2-4) تعطي:

$$\mathbf{C_e} = \frac{\mathbf{U}}{k_e} \qquad (\square - 2)$$

$$C_j = C_e \qquad ,j = 1,2,3,4$$

حيث:

$$\mathbf{k_e} = \sum_{j=1}^{4} \frac{E_j}{\lambda_j}$$

$$\mathbf{k_e} = \frac{E_1}{\lambda_1} + \frac{E_2}{\lambda_2} + \frac{E_3}{\lambda_3} + \frac{E_4}{\lambda_4}$$

$$\mathbf{k_e} = 13.\frac{69}{3.788 \times 10^{-3}} + 7.\frac{69}{4.311 \times 10^{-4}} + 7.\frac{69}{5.864 \times 10^{-4}} + 7.\frac{69}{4.234 \times 10^{3}}$$

$$\mathbf{k_e} = \mathbf{34565}\ MeV.S = \mathbf{5.538}\square\mathbf{0^{-9}}\ j.s$$

من المعادلة (2-1) و(2-5) نحصل على العلاقة بين تركيز طاقة ألفا الكامنة ومعامل التوازن:

$$U = k_e\, C_0\, F \qquad (6-2)$$

من المعادلتين (2-6) و(2-4) نحصل على العلاقة المبسطة لمعامل التوازن F:

$$F = \frac{U}{k_e C_0}$$

$$F = \sum_{j=1}^{4} \frac{C_j}{\lambda_j} E_j \Big/ (34565 \times C_0)$$

$$F = \frac{0.105\, C_1 + 0.516\, C_2 + 0.380\, C_3}{C_0} \qquad (7-2)$$

يتم إهمال C_4 لأنه صغير جداً حيث:

$$\frac{E_4}{\mathbf{k_e}\, \lambda_4} = \mathbf{5.27} \times 10^{-8}$$

في حالة التوازن الدائم تكون قيمة F مساوية الواحد. في الواقع حالة التوازن التام غير موجود في المنازل حيث وجد أنه في المنازل العادية يكون معامل التوازن بين 0.2 و0.7 [17]. وعادة يستخدم العدد 0.5 للدلالة على معامل التوازن في المنازل من أجل تحويل تركيز الرادون إلى تركيز منتجات تفكك الرادون في المنزل.

8- واحدات قياس الرادون:

مستوى العمل ((Working Level (WL)):

يطلق على الوحدة التي تصف تركيز طاقة ألفا الكامنة لمنتجات تفكك الرادون بسوية العمل (WL). أدخلت هذه الواحدة لأول مرة عام 1955 كمقياس للخطر النسبي لمنتجات تفكك الرادون قصيرة عمر النصف التي يمكن أن يتعرض لها العمال في مناجم اليورانيوم. وتعبر هذه الواحدة عن تركيز 100pCi/l من الرادون في حالة توازن مع منتجات تفككه.

عرفت أيضاً على أنها أي مزيج من منتجات تفكك الرادون قصيرة عمر النصف في لتر واحد من الهواء والذي يمكن أن يعطي $1.3*10^5$ MeV من طاقات جسيمات ألفا الكامنة والمنطلقة خلال تفككها لتصل إلى ^{210}Pb [10].

إن سوية العمل هي قياس لمعدل التعرض، وتصف الطاقة المحمولة بجسيمات ألفا في لتر من الهواء. ولربط هذه الطاقة مع الأثر البيولوجي والجرعة الممتصة يجب أخذ عدد آخر من العوامل بعين الاعتبار. يدخل ضمن هذه العوامل معدل التنفس وحجم الهواء أثناء عملية الشهيق والزمن الذي تبقى فيه منتجات تفكك الرادون في الجسم وعمر النصف للمنتج. إن العدد الكلي للذرات لكل 100pCi من النشاط يحسب كما يلي:

$$N_t = \frac{-\frac{dN}{dT}}{\lambda} = \frac{100pCi}{\lambda} = 100pCi * \frac{T_{\frac{1}{2}}}{0.693}$$

$$= 100pCi\left(\frac{3.823d}{0.693}\right)\left(3.710^{-10}\frac{S^{-1}}{Ci}\left(\frac{Ci}{10^{12}100pCi}\right)\left(\frac{3600s}{h}\right)\left(\frac{24h}{d}\right)\right)$$

$$= 1.7 \times 10^6 \; atoms$$

الجدول (2-1) يبين طريقة حساب العدد الكلي للذرات لكل 100pCi والنشاط الكلي للذرات.

العنصر المشع	عدد الذرات في 100pCi	طاقة ألفا الناتجة عن التفكك التام للذرة (MeV)	طاقة ألفا الكلية الناتجة عن التفكك التام للذرة (MeV)
^{222}Rn	$1.67*10^6$		
^{218}Po	977	6.00+7.69	$0.134*10^5$
^{214}Pb	8590	7.69	$0.661*10^5$
^{214}Bi	6310	7.69	$0.485*10^5$
^{214}Po	0.0009	7.69	$0.006*10^5$
$1.28*10^5 = 1.3*10^5$			

يبين الجدول أن تفكك ذرة ^{218}Po يعطي جسيمتين ألفا، واحدة بطاقة 6MeV والأخرى 7.69MeV من ^{214}Po. وبذلك تكون الطاقة الكلية الصادرة عن جسيمات ألفا من تفكك 100pCi من ^{218}Po هي $0.134*10^5$MeV والطاقة الكلية المنبعثة عن منتجات تفكك الرادون قصيرة عمر النصف هي $1.28*10^5$MeV.

يظهر من الحسابات أن ^{214}Pb يساهم بنصف طاقة سوية العمل، بينما مساهمة ^{214}Po معدومة. لذا فإن تعريف سوية العمل مبني على افتراض وجود التوازن الجوي [10].

فيحسب عدد مستويات العمل من المعادلة:

$$Number\ of\ WL = \frac{13.69(C_1) + 7.69(C_2 + C_3)}{1.3 * 10^5}$$

حيث C_1، C_2، C_3 تركيز منتجات تفكك الرادون ^{218}Po، ^{214}Pb و ^{214}Bi على الترتيب [17],[18].

مستوى العمل الشهري (Working Level Month (WLM))

أدخلت وحدة تعرض مستوى العمل الشهري تم فيها الاعتماد على أن العمال يقضون 173 ساعة في العمل خلال شهر على فرض أنهم يعملون 8 ساعات يومياً خلال خمسة أيام أسبوعياً. وبذلك عرف WLM على أنه التعرض لمستوى عمل واحد لمدة 173 ساعة.

9- طــرائــق قــيــاس الــرادون ومنتجات تفككه:

من المهم جداً عند حساب الجرعة الإشعاعية وتقدير المخاطر الناتجة عن التعرض لغاز الرادون ومنتجات تفككه، وجود طريقة دقيقة وعملية لكشف وقياس هذا الغاز ومنتجات تفككه وقد بذلت الكثير من الجهود من أجل تطوير طرائق قياس الرادون [20],[19]. وهذه الطرائق على نوعين:

فعالة (Active) تحتاج إلى طاقة خارجية لتعمل ومنفعلة (Passive) لا تحتاج إلى طاقة خارجية لتعمل.

أولاً الطرائق الفعالة (الآنية)

تتميز القياسات الفعالة بأنها سريعة وآنية، و لكن القيم الناتجة عن هذه الطريقة لحظية لا تعبر بالضرورة على القيم الحقيقية أو وسطي القيم خلال فترة زمنية طويلة نسبياً (مقارنة مع فترة إجراء التجربة) حيث تتغير هذه القيم تبعاً لعوامل خارجية (التهوية، الفلتر،...).

من الطرائق الفعالة طريقة سحب العينات على فلتر، طريقة الفلترين وحجيرة التأين.

1-9-قياس الرادون ومنتجات تفككه بجمع العينات على فلتر

في هذه الطريقة يتم سحب عينة هواء من خلال ورق الترشيح (فلتر) بواسطة مضخة مناسبة حيث يجمع الغبار المتعلق في الهواء والحامل لمنتجات تفكك الرادون على هذا الفلتر بينما يعبر الرادون إلى خلية ومضان (لوكس).

ويمكن بواسطة هذه الطريقة إيجاد تركيز منتجات تفكك الرادون مباشرة وذلك بوحدات سوية العمل (Working Level) بالإضافة إلى إمكانية تحديد تركيز النكليدات المشعة في سلسلة انحلال الرادون وذلك بعد الفلتر بواسطة أجهزة تحوي مضاعف ضوئي. كما ويمكن إيجاد تركيز غاز الرادون بعد الومضان الصادر عن خلية لوكس.

يندرج ضمن هذه الآلية في القياس عدة طرائق لأخذ العينات الآنية ومعالجتها، منها طريقة تسايفكلو، طريقة رول، طريقة كونستز المعدلة، تستخدم هذه الطرائق جميعها نفس التجهيزات الأساسية، ولكنها تختلف في زمن وحجم العينة وتعدادها وطرائق الحساب. وقد تم مؤخراً دراسة طريقة عامة تم خلالها استنتاج معادلات عامة بحيث يمكن من خلال هذه المعادلات تطبيق شروط مختلفة لسحب لعينة وتعدادها.

يعتمد مبدأ قياس الرادون ومنتجات تفككه في الهواء على تفاعل جسيمات ألفا الصادرة عن التفكك مع المادة الوماضة ((ZnS(Ag)) وفق الآلية التالية:

تصطدم جسيمات ألفا الناتجة عن التفكك المادة الوماضة ((ZnS(Ag)) مما يؤدي إلى إثارتها وإصدار فوتون ضوئي. يتم تحويله إلى نبضة كهربائية بواسطة أنبوب مضاعف ضوئي. تسجل هذه النبضات الكهربائية بواسطة عداد تراكمي، ومن ثم تظهر النتائج على شاشة رقمية ويكون التعداد متناسباً مع نشاط الرادون المتجمع في الخلية أو مع منتجات تفكك الرادون المتجمعة على الفلتر الورقي.

- **طريقة تسايفكلو المعدلة (The modified Tsivoglou)**

واحدة من الطرائق الآنية المستخدمة في قياس تركيز منتجات تفكك الرادون (^{218}Po-^{214}Pb-^{214}Po) في الهواء بشكل أساسي والمبدأ الأساسي لهذه الطريقة هو:

ضخ كمية من الهواء(10 l/min)الحاوي على الرادون ومنتجات تفككه عبر فلتر يوقف منتجات تفكك الرادون الصلبة ويسمح للهواء وغاز الرادون العبور عبر الفلتر.

تعد بعد ذلك جسيمات ألفا الصادرة عن منتجات تفكك الرادون المترسبة على الفلتر بواسطة عداد مناسب(جهاز AB5)

يُقْسَمُ زمنُ العد باستخدام طريقة تسايفكلو إلى ثلاثة فواصل زمنية وذلك اعتباراً من لحظة انتهاء جمع العينة كما التالي:

- ✓ الفاصل الأول: من 2 إلى 5 دقيقة (**3** دقائق).
- ✓ الفاصل الثاني: من 6 إلى 20 دقيقة (14 دقيقة) .
- ✓ الفاصل الثالث: من 21 إلى 30 دقيقة (9 دقائق).

ثم يحسب تركيز منتجات تفكك الرادون بوحدة (PCi/l) باستخدام المعادلات (2-8) التالية:

$$\left.\begin{aligned} C_{218_{Po}}(PCi\backslash l) &= \frac{(0.16894 I_{2,5}\ 0.08200 I_{6,20} + 0.07753 I_{21,30})}{Q \times E} \\ C_{214_{Pb}}(PCi\backslash l) &= \frac{(0.00122 I_{2,5} - 0.02057 I_{6,20} + 0.0490 I_{21,30})}{Q \times E} \\ C_{214_{Po}}(PCi\backslash l) &= \frac{(-0.02252 I_{2,5} + 0.03318 I_{6,20} - 0.03771 I_{21,30})}{Q \times E} \end{aligned}\right\} \quad (8\text{-}2)$$

حيث:

Q: معدل تدفق الهواء عبر الفلتر (l/min).

E: كفاءة التعداد.

$I_{ta,tb}$: هو مجموع تعداد جسيمات ألفا من الزمن t_a إلى الزمن t_b بعد أخذ العينة.

يمكن حساب WL من هذه القياسات بواسطة المعادلة التالية [7]:

$$Wl = \frac{(0.0961 I_{2,5} - 0.0650 I_{6,20} + 0.1881 I_{21,30})}{1000 \times Q \times E} \quad (9-2)$$

أما بالنسبة لتقدير تركيز الرادون يتم تعداد الومضان الصادر عن الخلية لمدة عشر دقائق أو أكثر بعد زمن تأخير قدره ثلاث ساعات ثم يحول التعداد إلى تعداد بالدقيقة (cpm) ويطرح منه معدل تعداد الخلفية الطبيعية. يسجل التعداد الصافي ويحسب التركيز وفقا للعلاقة التالية:

$$C_{222Rn} = \frac{Net\ cpm \times 1000}{6.66 \times C_{Eff} \times G \times V} \quad (10-2)$$

حيث:

cpm معدل التعداد بالدقيقة.

6.66 معامل التحويل من cpm إلى pCi مضروبة بـــ 3 ناتجة عن تفككات α الثلاثة الناتجة عن تفكك منتجات تفكك الرادون قصيرة العمر.

C_{Eff} كفاءة جهاز القياس مع الخلية.

G معامل تنامي منتجات تفكك غاز الرادون (0.98 بعد ثلاث ساعات) الملحق (2).

V حجم العينة (ml).

استخدام المعادلات العامة لتحديد تركيز منتجات تفكك الرادون في الهواء بطريقة جمع العينات الآنية [21]:

يتم في هذه الطريقة ضخ كمية من الهواء الحاوي على الرادون ومنتجات تفككه عبر فلتر يوقف منتجات تفكك غاز الرادون الصلبة ويسمح للهواء وغاز الرادون العبور عبر الفلتر.

يتم حسابات تركيز منتجات تفكك الرادون باستخدام المعادلات (2-11) التالية:

$$\left.\begin{aligned} C_{218_{Po}}\,(PCi\backslash l) &= \frac{x \times \lambda_1}{2.22 \times E \times Q} \\ C_{214_{Pb}}\,(PCi\backslash l) &= \frac{y \times \lambda_2}{2.22 \times E \times Q} \\ C_{214_{Po}}\,(PCi\backslash l) &= \frac{z \times \lambda_3}{2.22 \times E \times Q} \end{aligned}\right\} \quad (11-2)$$

حيث λ_1، λ_2 و λ_3 ثوابت التفكك الإشعاعي لمنتجات تفكك الرادون الثلاث ^{218}Po، ^{214}Pb، و ^{214}Po على الترتيب.

Q معدل تدفق الهواء في واحدة الزمن (l\min).

E كفاءة جهاز القياس مع الخلية

(z, y, x) معدلات الترسيب على الفلتر في واحدة الزمن لمنتجات تفكك الرادون الثلاث ^{218}Po، ^{214}Pb، و^{214}Po على الترتيب خلال عملية الضخ وهي عبارة عن جملة معادلات تابعة لكل من $(t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, T, Q)$. تم إدراج هذه المعادلات في الملحق (9)

- **طريقة كونستز المعدلة (The Modified Kusnetz)**

وهي طريقة بسيطة وحقلية أول من قام بها العالم L. Kusnetz Howard وبعد ذلك تم تطويرها لتلاءم الأجهزة الحديثة والتقنيات المتقدمة. ومبدأ هذه الطريقة يعتمد على:

ضخ كمية من الهواء حجمها (20 l) وبمعدل (2 l/min) الحاوي على الرادون ومنتجات تفككه عبر فلتر يوقف منتجات تفكك الرادون ويسمح للهواء والرادون العبور عبر الفلتر.

تعد بعد ذلك جسيمات ألفا الصادرة عن منتجات تفكك الرادون المترسبة على الفلتر بعد زمن تأخير من 40 إلى 90 دقيقة من لحظة انتهاء جمع العينة بشرط استخدام معامل التصحيح المقابل.

يحسب التعرض لمنتجات تفكك الرادون بواحدة سوية العمل بالعلاقة:

$$WL = \frac{n}{E \times V \times F}$$

حيث:n هي معدل التعداد الصافي ويقدر بالــ cpm.

E: مردود الصفيحة الوماضة.

V: حجم عينة الهواء.

F: معامل التصحيح (يتعلق بالمدة الزمنية المنقضية بين بدء الوقت ومنتصف فترة التعداد يفيد هذا المعامل في تحويل التعداد الذي حصلنا عليه إلى واحدة سوية العمل WL) الملحق (3).

- **طريقة رول (The Roll Method)**

تعتبر طريقة رول مشابهة لطريقة كوستنز ولكنها أسرع، حيث يتم اختيار معدل تدفق هواء قدره (10 l/min)، وفترة أخذ العينة وزمن التأخير وزمن التعداد من الشكل أو الجدول المخصص لطريقة رول الملحق (4). وغالباً ما يتم اختيار 10 دقائق كزمن لأخذ العينة 4.53 دقيقة كزمن تأخير و5 دقائق كزمن عد العينة. وفي هذه الحالة يكون معامل التحويل لسوية العمل (F) مساويا 212.7 بخطأ قدره ±15%.

تحسب سوية العمل من العلاقة :

$$WL = \frac{R}{E \times V \times t \times F}$$

حيث

R: هو معدل التعداد الصافي ويقدر بالـــ cpm

E: مردود الصفيحة الوماضة

V: معدل تدفق الهواء عبر المرشح (1 l/min)

T: زمن اخذ العينة بالدقيقة

F: معامل تحويل رول.

9-2- حجيرة التأين (Ionization Chamber)

حجيرة التأين عبارة عن مكثفة اسطوانية الشكل، يولد حقل كهربائي بين لبوسيها. يدخل الهواء المراد قياس تركيز غاز الرادون فيه عبر فلتر إلى الحيز الفعال في الحجيرة، و يعتمد مبدأ عمل هذه الطريقة على جمع التأيونات الحاصلة نتيجة التفكك الإشعاعي للرادون ومنتجات تفككه بين طرفي لبوسي الحجيرة.يولد جمع هذه التأيونات تيار من النبضات وعندها يمكن حساب تركيز الرادون من خلال عدد النبضات المسجلة خلال فترة معينة ومحددة [22],[20].

9-3- طريقة الفلترين (Two Filter Technique)

تعتمد هذه الطريقة على قياس تركيز البولونيوم-218 من أجل تحديد تركيز الرادون، و ذلك من خلال ضخ الهواء الحاوي على غاز الرادون إلى أنبوب أسطواني يحوي فلترين على فتحتيه. يوقف الفلتر الأول الغبار ومنتجات تفكك الرادون الصلبة المتواجدة في الهواء ويسمح لغاز الرادون فقط بالمرور حيث يتفكك داخل الأنبوب إلى البولونيوم-218، تترسب هذه الذرات على فلتر المخرج وباستخدام كاشف الإعاقة السطحي (Surface barrier Detector) يتم قياس نشاط جسيمات ألفا الموجودة على الفلتر، ومنها يمكن حساب تركيز الرادون [18],[17],[20].

ثانياً الطرائق المنفعلة (Passive)

تستخدم للقياسات الطويلة (التراكمية) وذلك عن طريق انتشار غاز الرادون داخل خلية مغلقة من خلال مرشح، دون استخدام أي وسائل لسحب الهواء إلى داخل الحجيرة.

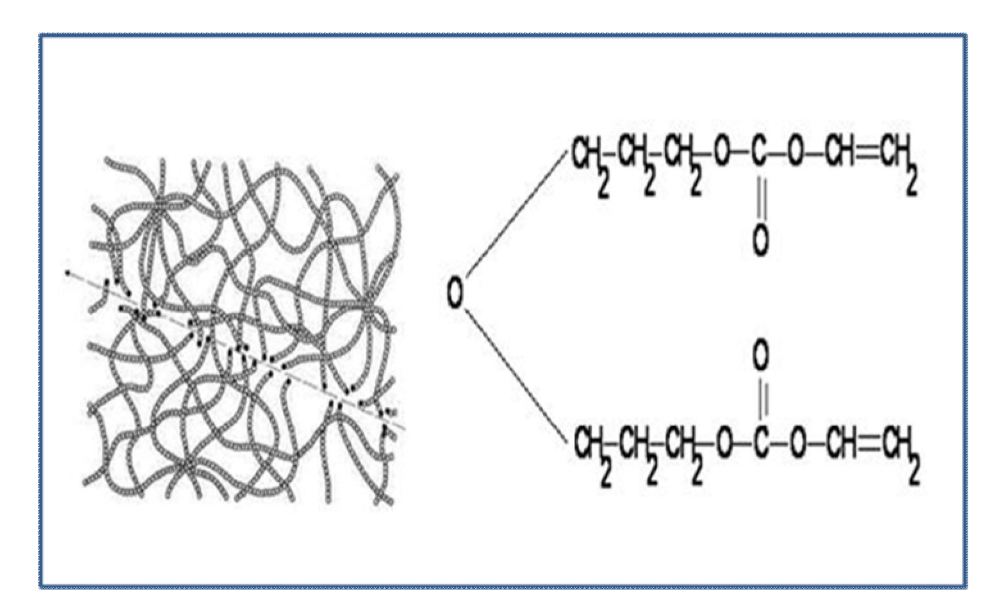
يتم وضع كواشف الأثر النووي (حساس لجسيمات ألفا) داخل الحجيرة لرصد الجسيمات الصادرة من الرادون ومنتجات تفككه ويمكن بواسطة هذه الطريقة قياس متوسط تركيز غاز الرادون على فترات طويلة بشكل تراكمي لمدة قد تصل إلى عدة شهور.

تحتاج القياسات المنفعلة لفترة زمنية طويلة قد تصل لشهور، وهي تقدم تقديراً حقيقياً لمجمل التركيز خلال فترة التعريض.

9-4- كواشف الأثر النووي في الحالة الصلبة (Solid State Nuclear Tracks Detectors (SSNTDs)

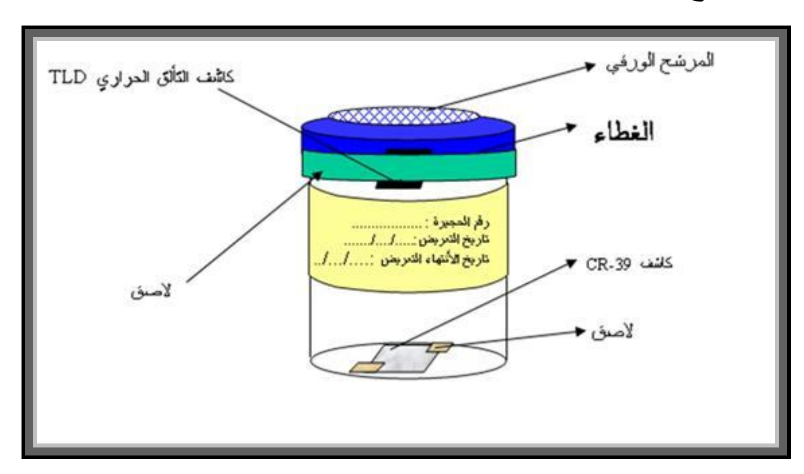
وهي من أكثر الكواشف استخداماً في قياسات الرادون وذلك لدقتها وسهولة استعمالها، وهي عبارة عن قطع بلاستيكية بوليميرية حساسة لجسيمات ألفا (poly diglycol carbonate) وأهمها كواشف CR-39.

تعتبر كواشف CR-39 ذات خواص فريدة واستعمالات واسعة حيث أنها عالية النقاوة وذات تأثر ضئيل جداً بالتغيرات البيئية. فهي حساسة جداً للأشعة المؤينة وهي الوحيدة التي تستطيع تسجيل آثار للبروتونات. كما وتستطيع تسجيل جسيمات ألفا بطاقة أعلى بقليل من الصفر إلى طاقة حوالي 60Mev، والصيغة الكيميائية لهذا الكاشف هي $C_{12}H_{18}O_7$ الشكل (2-7).



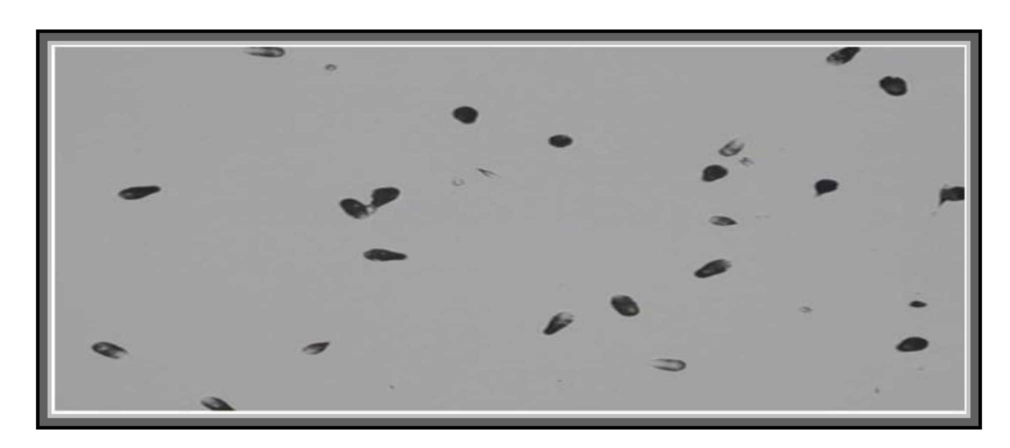
الشكل (2-7) الصيغة الكيميائية لكاشف CR-39

توضع كواشف CR-39 داخل حجيرة بلاستيكية ذات غطاء بلاستيكي يحوي العديد من الثقوب. ويملك الوجه الداخلي للغطاء فلتر ورقي يمنع دخول منتجات تفكك الرادون وذرات الغبار التي يزيد قطرها عن قطر مسامات الفلتر، يبلغ ارتفاع هذه الحجيرة 9.5 cm وقطرها 6.4cm وقطر المرشح 4cm الشكل (2-8).



الشكل (2-8) حجيرة كاشفCR-39 لقياس غاز الرادون

يعتمد هذا النوع من الكواشف على الأثر الذي ستحدثه الجسيمات المؤينة في الأجسام العازلة بما فيها الزجاج والبلاستيك. فعندما يدخل غاز الرادون إلى داخل الحجيرة يتفكك مطلقا جسيمات ألفا، وهذه الجسيمات تصطدم بسطح الكاشف فتؤدي كل منها إلى إحداث تخريب ميكروسكوبي على طول مسار الجسيمة في جسم الكاشف ويدعى هذا التخريب بالأثر الخفي، حيث يكون قطر الأثر أقل من (10-8 cm) ولكن يمكن جعل هذه الآثار مرئية بواسطة الميكروسكوب الضوئي العادي (أي قطر الأثر من رتبة 10-4 cm) بعملية الحك الكيميائي (Chemical Etching). الشكل (2-9) يبين شكل الآثار بعد الحك الكيميائي.



الشكل (2-9) الأثر تحت المجهر بعد المعالجة الكيميائية.

تلعب شروط الحك من حيث تركيز المحلول ودرجة حرارته وزمن الحك دوراً كبير في عملية الإظهار، كما وتعتمد أيضا على نوع الكاشف الحاوي على الآثار (بلاستيك، زجاج، بلورات)، فمن أجل الكواشف البلاستيكية يغمس عادة الكاشف في محلول كيميائي قلوي مثل ماءات الصوديوم (NaOH)، أو ماءات البوتاسيوم (KOH) بتركيز ودرجة حرارة وفترة زمنية محددة، عندها يمكن ربط عدد الآثار المسجلة والظاهرة على الكاشف بوسطي تركيز الرادون [17],[18],[20],[22],[23],[24].

9-5- طريقة الفحم الفعال (Activated Charcoal)

تعتمد هذه الطريقة على خاصية الفحم الفعال في امتصاص وحفظ غاز الرادون ومنتجات تفككه. يمكن أن يحدد تركيز الرادون الممتص باستخلاصه إلى عداد التألق السائل (Liquid scintillator)، أو باستخدام كاشف لأشعة غاما (مثل كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة أو بلورة الصوديوم التألقية) لتكشف أشعة غاما الصادرة عن الرصاص-214 والبزموث-214.[25]

9-6- طريقة الإلكتريت أو نظام الإيبرم (E-PERM)

تعتمد هذه الطريقة على قرص من التفلون يدعى بالإلكتريت مشحون بشحنة كهربائية ساكنة حيث يؤدي وجود الأيونات المشحونة الناتجة عن وجود غاز الرادون ومنتجات تفككه داخل حجيرة الإلكتريت إلى خفض قيمة كمون قرص التفلون. من خلال فرق الكمون وباستخدام معامل معايرة مناسب يتم تحديد تركيز غاز الرادون [26].

9-7- طرائق القياس المستخدمة في هذا العمل

تم في هذا البحث استخدام كلا الطريقتين الفعالة والمنفعلة في القياسات. حيث استخدم بالطريقة الفعالة طريقة ومعادلات تسايفكلو في بعض القياسات، واستخدمت المعادلات العامة في باقي القياسات، أما بالطريقة المنفعلة استخدمت كواشف الأثر النووي في الحالة الصلبة SSNTDs من النوع CR-39.

الفصل الثالث

القسم العملي

القسم العملي

هدف البحث

يهدف هذا العمل إلى قياس معامل التوازن بين غاز الرادون ومنتجات تفككه بالطريقتين الفعالة (الآنية) والمنفعلة (التراكمية) ومحاولة الربط بين كلتا الطريقتين.وذلك من أجل ظروف بيئية مختلفة وتركيز معلقات هوائية متغير.

شمل الجزء العملي الأقسام الرئيسية التالية:

- تصنيع خلية رادون خاصة
- معايرة وضبط الأجهزة والمنظومات المستخدمة في هذا البحث.
- اختبار أوساط ذات تركيز متغير من غاز الرادون وتطبيق معاملات مختلفة عليه.
- تحديد تركيز غاز الرادون ومنتجات تفككه في الهواء بالطرائق الآنية وتحديد معامل التوازن.
- إجراء القياسات باستخدام كواشف CR-39.
- المقارنة بين القياسات بالطرائق المختلفة.

1- الأدوات والأجهزة المستخدمة:

أولا تجهيزات الطريقة المباشرة:

- جهاز AB5 وهو مضاعف فوتوني يحول الفوتونات الواردة من كاشف الومضان إلى عدات.
- صفيحة الومضان (Scintillation tray): تتألف من قرص شفاف من النايلون رسب عليه طبقة رقيقة جداً من كبريت التوتياء المشاب بالفضة ZnS(Ag) وهي مادة وماضة خاصة باستقبال جسيمات ألفا وتحويلها إلى فوتونات مرئية.
- مضخة هواء متنقلة مزودة بمقياس تدفق، يمكن تغيير التدفق فيها من 5 l\min حتى 30 l\min.
- فلتر ميلي بور مساميته (0.8μm)، يمكنه إيقاف معلقات الهواء الحاوية على منتجات تفكك الرادون ويسمح بمرور غاز الرادون.
- خلية ومضان (Scintillation cell): تسمى خلية لوكاس وهي من إنتاج شركة Paylon الكندية، وهي عبارة عن خلية أسطوانية الشكل حجمها حوالي 160ml بارتفاع 73mm

وبنصف قطر حوالي 26.5mm وهي مزودة بصمامين يسمحان بمرور الهواء عبرهما عند الضخ يحكمان الإغلاق بعد توقف الضخ. أما الجدران الداخلية للخلية فهي مطلية بمادة كبريت التوتياء المشابة بالفضة ZnS (Ag)، يوجد في أسفل الخلية نافذة شفافة مصنوعة من البيرسبكس تسمح بمرور الفوتونات الناتجة عن الومضان إلى المضاعف الضوئي. تحقق هذه الخلية كفاءة كشف تصل إلى 70%. يوضح الشكل (3-1) خلية الومضان المستخدمة أثناء وضعها للتعداد بجهاز AB5.



الشكل (3-1) خلية الومضان وجهاز AB5.

- خلية الرادون العيارية: شكل متوازي مستطيلات الشكل (3-2) بحجم $0.65m^3$ (ارتفاعه 102.5cm قاعدته مربع طول ضلعه 81.5cm) مصنوع من مادة البيرسبيكس بسماكة 1cm للألواح الجانبية و2cm للسطح العلوي والقاعدة مصنوعة من المعدن. يوجد داخلها مصدر راديوم مفتوح نشاطه 122kBq في حالة توازن دائم مع الرادون، مما يجعل تركيز الرادون في الخلية $170kBq/m^3$ صممت هذه الخلية ونفذت في هيئة الطاقة الذرية السورية ثم درست وتمت معايرتها واختبارها [27].

الخلية مزودة بنظام قفل ثنائي وبصمامات موزعة في أماكن مختلفة من الخلية إضافة للعديد من المزايا الأخرى



الشكل (3-2) خلية الرادون العيارية

- مجموعة من الوصلات المطاطية مع بعض الأدوات المساعدة (ملقط، ميقاتية)
- خلية اختبار لجهاز الومضان، وهي نموذج مطابق لخلية لوكس الوماضة، محكم الإغلاق يحوي في داخله مصدر راديوم ثابت يوفر عدداً ثابتاً من الفوتونات خلال الزمن.
- أنبوب زجاجي ذو مخرج دقيق ويمكن فتحه وإغلاقه من جهة المخرج الدقيق، استخدم من أجل إدخال المعلقات أثناء الضخ إلى الخلية الخاصة. بحيث يتم وزن العينة المراد إدخالها في هذا الأنبوب بواسطة ميزان دقيق جداً، ويوصل عبر دارة مغلقة مع مضخة والخلية الخاصة ويتم تدوير الهواء لمدة 3min بمعدل ضخ 30L\min. الشكل (3-3) يوضح شكل الأنبوب وطريقة وصل دارة ضخ المغلقة.



الشكل (3-3) يوضح شكل الأنبوب وطريقة ضخ المعلقات عبر دارة ضخ مغلقة

ثانياً : تجهيزات الطريقة غير المباشرة

- كواشف الأثر النووي (كواشف بلاستيكية) من النوع CR-39 بسماكة 1mm.
- حجيرة تعريض الرادون المجهزة بفلتر ترشيح ورقي يسمح بمرور الهواء ويوقف معلقات الهوائية الصلبة.
- علب مربعة طول ضلعها (3cm) وارتفاعها 1cm مزودة بغطاء استخدمت في جزء من التجارب لتعريض الكواشف داخل العلبة وخارجها. يبين الشكل (3-4) العلبة مع الغطاء.





الشكل (3-4) يبين شكل العلبة مع الغطاء.

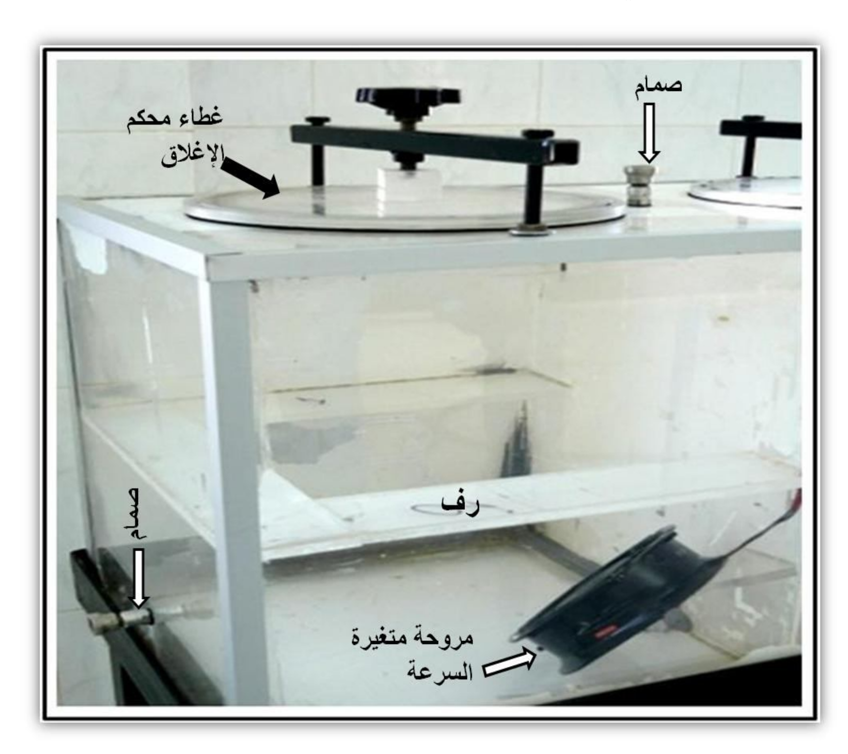
- أدوات خاصة لتقطيع ألواح الكواشف البلاستيكية وترقيمها.
- ماءات الصوديوم NaOH على شكل حبيبات نقية (نسبة النقاوة 99%).
- ماء ثنائي التقطير.
- ميزان حرارة إلكتروني.
- ميزان الكتروني حساس جداً يقيس وزن من رتبة μgram إلى gram
- دوارق وبياشر مدرجة.
- حمام مائي يحافظ على درجة حرارة المحاليل عبر التسخين بالماء.
- مسطرة ميكرومترية لتحديد أبعاد مشاهد مجهرية.
- مجهر ضوئي ذو قدرة تكبيرية من 100 حتى 400 مرة.

2- الخطوات العملية والنتائج

أولاً تصميم وتنفيذ ودراسة خلية رادون خاصة بالتجارب:

من أجل إجراء تغييرات على تركيز المعلقات في الهواء لدراسة معامل التوازن تم تصميم خلية خاصة وذلك للحفاظ على الخلية العيارية حيث من غير المناسب القيام بالتجارب داخل الخلية العيارية مما قد يسبب الإخلال بعياريتها.

صنعت هذه الخلية على شكل متوازي مستطيلات مقسم إلى قسمين، أبعاد كل قسم (60*40*40)، زود كل قسم بفتحة في الوجه العلوي بقطر (25cm) مجهزة بغطاء محكم الإغلاق. تم تصنيع هذه الخلية من البيرسبكس. وضعت الخلية على قاعدة معدنية متحركة، وجهزت الخلية برفوف داخلية على ارتفاع (36cm) وبعرض (8cm). كما تم إضافة مروحة تعمل بسرعات مختلفة من أجل مزج الهواء داخل الخلية ودراسة أثر تحريك الهواء على معامل التوازن. كما تم تجهيز الخلية بصمامين على الوجهين العلوي والجانبي من أجل ضخ الرادون من وإلى الخلية كما هو مبين في الشكل (3-5).



الشكل (3-5): تصميم الخلية الخاصة

ضغطت الخلية بالهواء وجرى اختبار إحكام الإغلاق فيها ثم أعيدت التجارب من أجل ضغوط سالبة في الداخل، وقد بينت هذه التجارب ثبات الضغط داخل الخلية من أجل مجال ضغط مطبق

يتراوح بين 0.5 Bar و1.5 Bar، مما يعني أن هذه الخلية تتميز بإغلاق محكم عند الضغط الجوي الطبيعي الذي أجريت فيه القياسات.

ثانياً معايرة وضبط الأجهزة والمنظومات المستخدمة في هذا البحث.

التأكد من ثباتية قياسات جهاز الــ AB5:

يجب قبل استخدام جهاز AB5 التأكد من صلاحية عمل الجهاز وثباتية قياساته وذلك باستخدام خلية اختبار خاصة بالجهاز، حيث يتم تعداد الخلية ثلاث مرات متتالية بمعدل دقيقة لكل قراءة، فإذا لم يتجاوز الفرق بين أكبر عدة وأصغر عدة 10% فذلك يعني جاهزية المضاعف الفوتوني المستخدم للعد. يوضح الجدول (6-1) في الملحق (6) نتائج المعايرات وتاريخها حيث كانت جميع النتائج مقبولة مما يدل على سلامة نتائج جميع القياسات التي استخدم فيها جهاز AB5.

تحديد مردود الكشف لنظم القياس المستخدمة:

تحتاج العديد من المعادلات المطبقة في هذه الدراسة لحساب مردود صفيحة الومضان المستخدمة في القياس بالطرائق الآنية، لذلك حسب المردود من أجل مصادر ذات نشاط سطحي مختلف. وفق المراحل التالية:

1. قياس نشاط المصادر بمطيافية α
2. حساب مردود الكشف E من العلاقة

$$E = \frac{C}{A} \times 100$$

حيث:C العد المسجل على جهاز AB5 ويقدر بالعدة بالثانية (cps)، A نشاط المصدر Bq. بعد أن تم تعداد كل مصدر ثلاث مرات.

وجد أن المردود الوسطي هو $(31.39 \pm 0.26)\%$ والذي استخدم في معادلات وحسابات تركيز منتجات تفكك الرادون. يوضح الجدول (3-1) طريقة حساب المردود.

الجدول (3-1) حساب المردود

رقم المصدر	النشاط (Bq)	C_1	C_2	C_3	C	المردود
1	377±31	19826	19778	19477	19694	27.35±0.26
2	18533±221	1166864	1166684	1165861	1166470	32.90±0.01
3	172±21	9270	9142	9465	9292	39.11±0.69

$$E = \frac{E_1 + E_2 + E_3}{3} = 31.39 \pm 0.26$$

كواشف الأثر النووي:

تقطيع الكواشف وترقيمها.

أستخدم في هذا العمل دفعتين من كواشف CR-39، يتم إحضار هذه الكواشف على شكل شريحة شفافة مستطيلة الشكل (30 cm x 28 cm) سماكة الشريحة 1 mm. تقطع بالأبعاد المناسبة للكواشف المستخدمة.

قطعت كواشف الدفعة الأولى ورقمت يدوياً باستخدام مشارط خاصة على شكل مربعات طول ضلع كل منها (1.5 cm). أما كواشف الدفعة الثانية فقد قطعت ورقمت آلياً بالأبعاد (1.3 cm × 1.5 cm).

تحضير محلول الحك وضبط شروط الحك

تحك كواشف CR-39 كيميائياً بمحلول هيدروكسيد الصوديوم NaOH بتركيز 6.25 نظامي. يتم وزن كمية من بلورات NaOH النقية وتذاب في الماء ثنائي التقطير، يتم إضافة 125gr من بلورات هيدروكسيد الصوديوم إلى 0.5 l من الماء ثنائي التقطير. يوضع المحلول في الحمام المائي الذي يرفع درجة حرارة المحلول لدرجة محددة $70^{o}C$ ثم يتم وضع الكواشف وتحك لمدة 7hr.

هذه الشروط هي الشروط المعتمدة في مخابر هيئة الطاقة الذرية من أجل كواشف CR-39 وقد طبقت على جميع كواشف CR-39 المستخدمة في هذا البحث.

عد الآثار المتشكلة على سطح كواشف CR-39.

يستخدم المجهر الضوئي من أجل إحصاء الآثار وذلك بتكبير مناسب يرتبط بكثافة الآثار ووضوحها (غالباً في هذا البحث استخدم تكبير 18 × 20 ضعفاً).

يؤخذ عدد من المشاهد المنفصلة المتتالية بحيث يتراوح عدد الآثار التي تم إحصاؤها بين 100 و400 أثر، ثم يحسب وسطي عدد الآثار في المشهد الواحد.

يقاس قطر المشهد بواسطة مسطرة مايكروية وتحسب مساحة مشهد العد.

يتم حساب تركيز الآثار في واحدة المساحة من أجل كل كاشف ويحسب الخطأ النسبي من العلاقة $\zeta=1/sqrt(N)$ حيث N عدد الآثار الذي تم إحصاؤه على الكاشف.

معايرة كواشف الأثر النووي

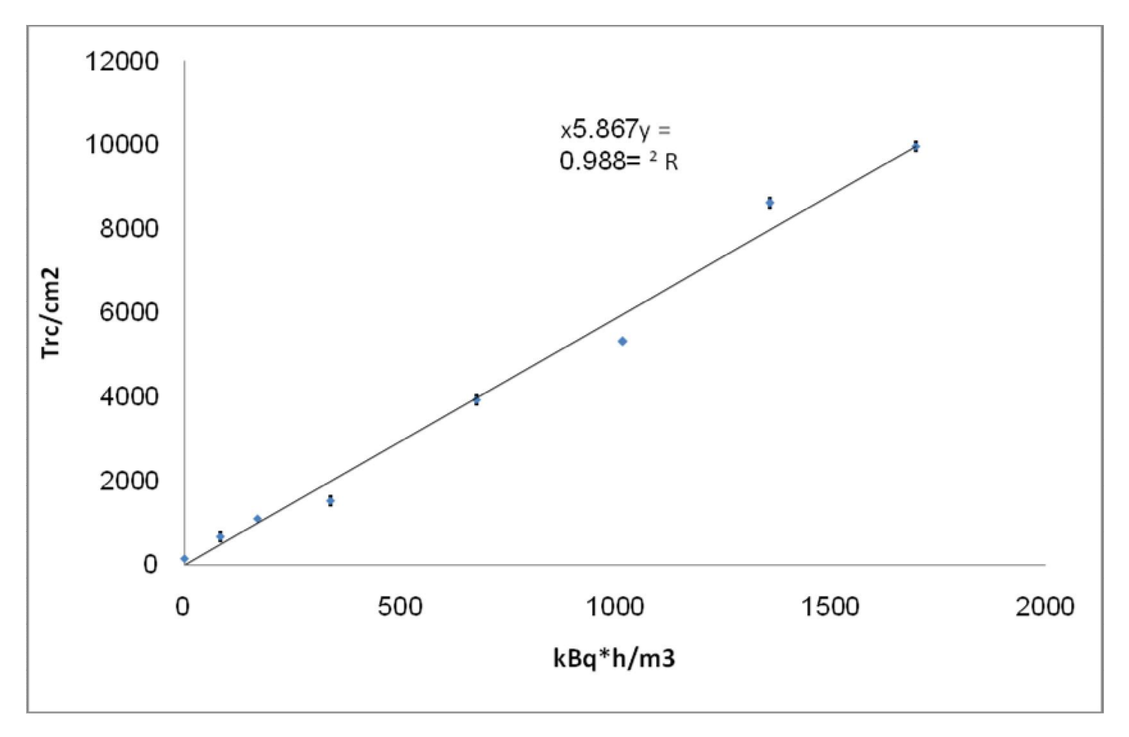
إن أهم ما يجب أن يتميز به أي كاشف هو تزايد استجابته مع تزايد كمية المادة المشعة التي يتعرض لها وهذا ينطبق تماماً على كواشف CR-39. كما أنه من المعلوم أن استخدام هذه الكواشف مرتبط بمعايرتها، لذلك جهز 27 كاشف وقطعت على شكل مربعات طول ضلع كل منها 1.5cm ثم جرى تعريضها داخل الخلية العيارية، بعد أن تم توزيعها على تسع مجموعات (تضم كل مجموعة ثلاثة كواشف)، من أجل أزمنة مختلفة. ثم خضعت هذه الكواشف لعملية حك كيميائي بالشروط المعتمدة، تم عد هذه الكواشف وحساب تركيز الآثار على كل منها، وتم رسم تركيز الآثار Tr/cm^2 بدلالة زمن التعريض مضروباً بتركيز الرادون الثابت ($Bq*h/m^3$) لينتج خط مستقيم ميله ($Tr*m^3/Bq*h*cm^2$) M.

تم إعادة المعايرة عند استخدام دفعة جديدة من الكواشف وكان الميل 5.867 ($Tr*m^3/Bq*h*cm^2$) لكواشف المجموعة الأولى و($Tr*m^3/Bq*h*cm^2$) 6.919 لكواشف المجموعة الثانية. يبين الشكلان (3-6) و(3-7) منحني المعايرة لكلا المجموعتين.

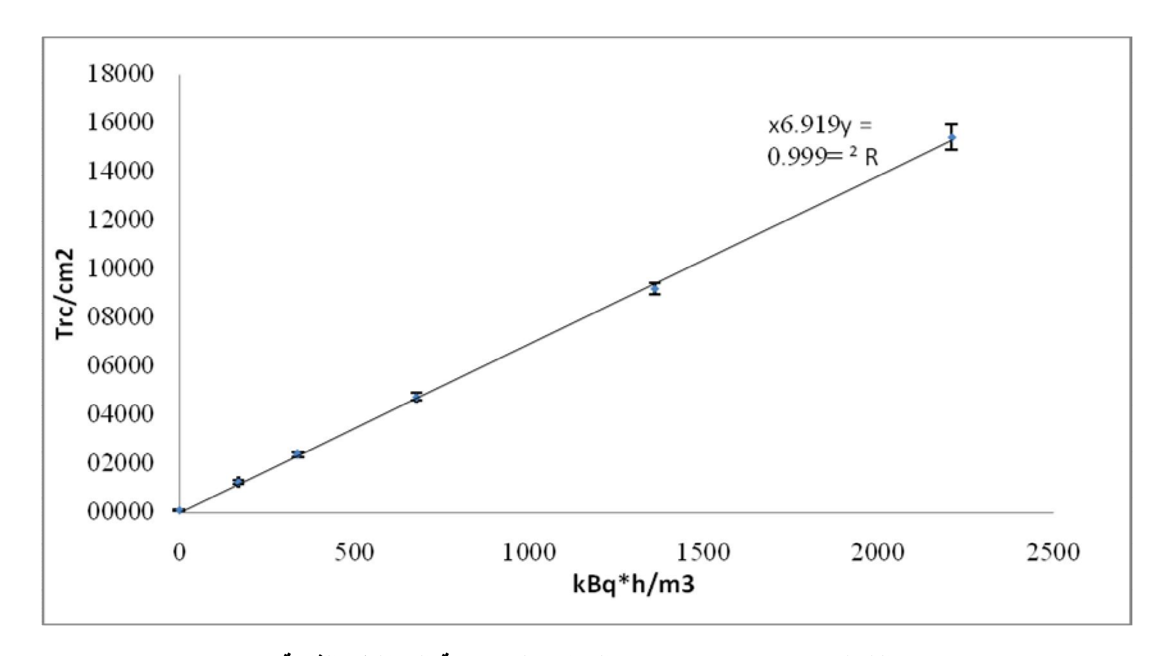
أبدت الكواشف خطية واضحة في كلا المجموعتين وقد تميزت المجموعة الثانية بدقة عالية وحساسية أعلى من المجموعة الأولى وهذا يتضح من قيمة معامل الارتباط الخطي R^2=0.999 القريبة من الواحد ويعود ذلك لحداثة كواشف المجموعة الثانية ولاستخدام التقطيع والترقيم الآلي بالليزر. استخدم كل معامل معايرة مع الكواشف المتوافقة مع مجموعته من أجل الحسابات في الخطوات اللاحقة.

دراسة ترسب منتجات تفكك الرادون على سطح كاشف CR-39:

ترتبط قيمة معامل التوازن F وبشكل وثيق مع مقدرة منتجات تفكك الرادون على البقاء معلقة في الهواء، ويؤدي ترسب هذه المعلقات أو التصاقها على الجدران إلى تناقص قيمة F. لذلك هدفت التجارب الأولى للتعرف على آلية الترسيب وذلك من خلال المراحل التجريبية التالية:



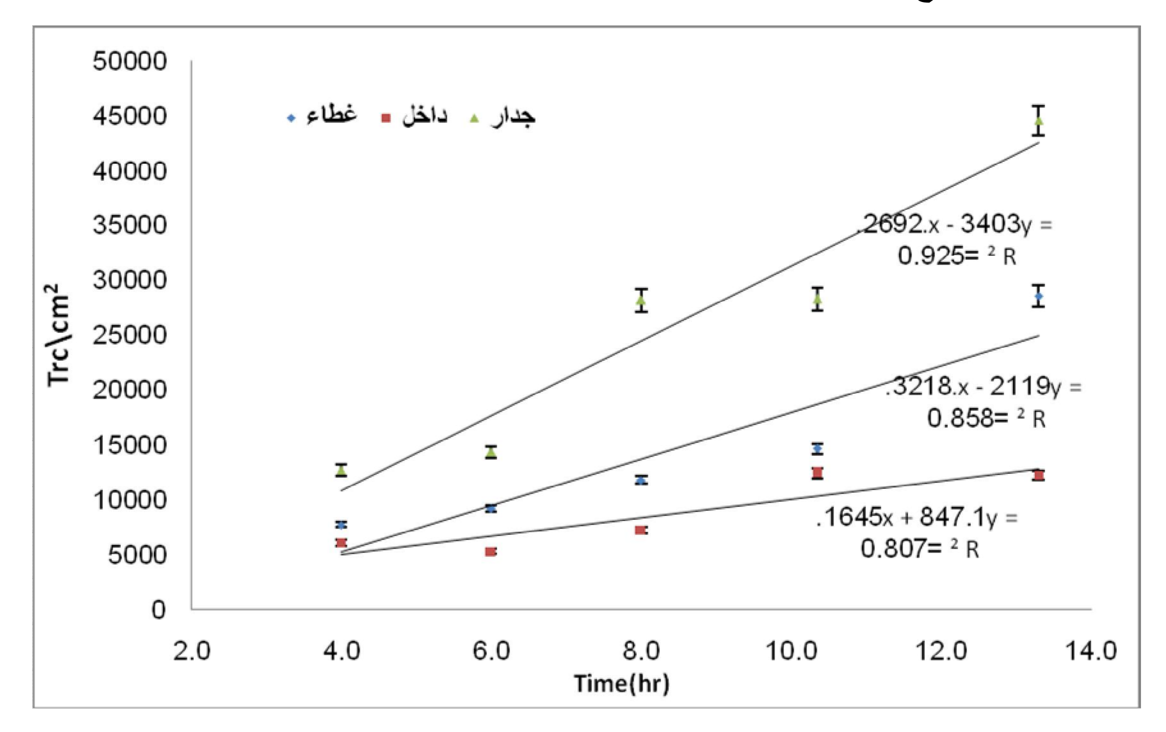
الشكل (3-6): يوضح منحني المعايرة لمجموعة الكواشف الأولى



الشكل (3-7): يوضح منحني المعايرة لمجموعة الكواشف الثانية

المرحلة الأولى:

استخدم في هذه المرحلة (15) كاشف من الدفعة الأولى وزعت على خمس مجموعات حيث تتألف كل مجموعة من ثلاثة كواشف، وضع الأول داخل حجيرة تعريض الرادون وثبت الثاني أفقياً على سطح الحجيرة الخارجي أما الثالث فكان شاقولياً على الجدار الخارجي للحجيرة. وضعت الحجيرات مع كواشفها داخل الخلية العيارية ورفعت بأزمنة متتالية. حكت الكواشف وعدت فكانت النتائج كما هو مبين بالشكل (3-8).



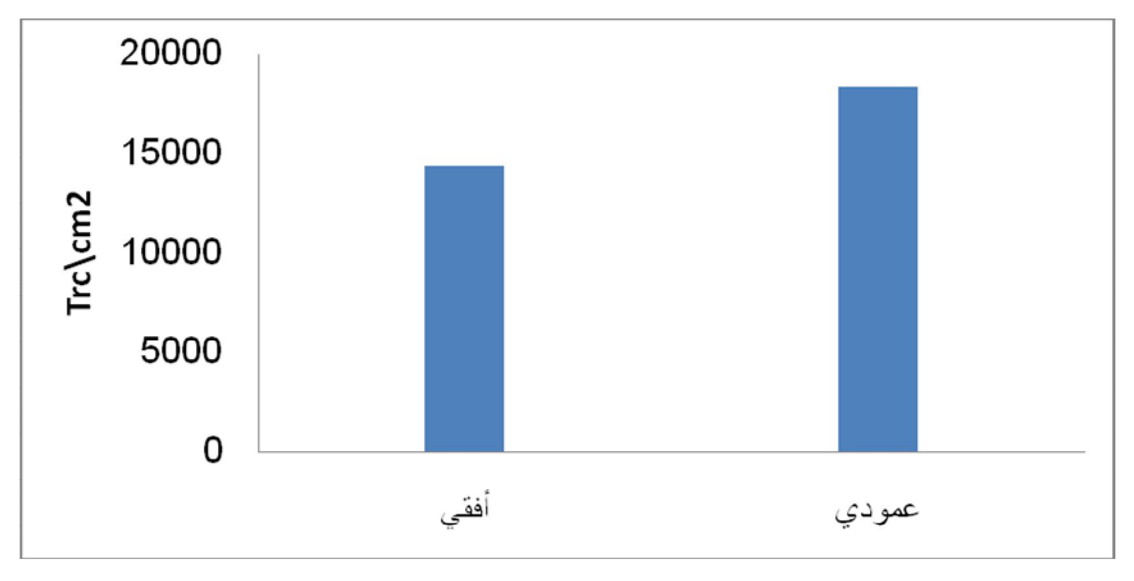
الشكل (3-8) تغير تركيز الآثار بدلالة زمن التعريض

نلاحظ من الشكل تزايد تركيز الآثار بشكل عام على الكواشف في المجموعات الثلاث بازدياد الزمن. كما ويتبين أن تركيز الآثار على الكواشف المثبتة على الجدار (الوضع الشاقولي) أعلى من تركيز الآثار المثبتة على سطح حجيرة التعريض (الوضع الأفقي). يزداد التفاوت بين الكواشف الثلاث بزيادة زمن التعريض.

المرحلة الثانية

استخدم في هذه المرحلة (8) كواشف من الدفعة الأولى، تم تعليق الكواشف بشكل مباشر بواسطة ملاقط وخيوط طويلة حيث ثبتت بالغطاء الخارجي للخلية العيارية وتركت في الهواء على ارتفاع 30 cm داخل الخلية العيارية وكان كل كاشفين متجاورين في إحدى زوايا الخلية

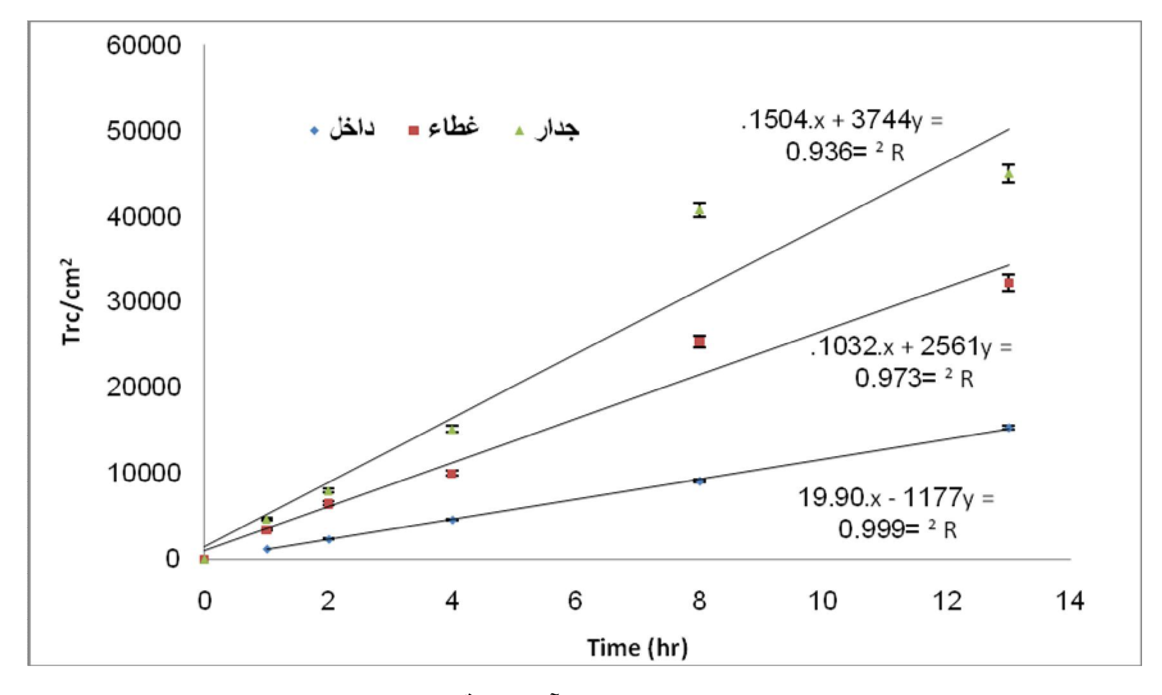
العيارية بحيث يكون أحد الكاشفين أفقي والثاني شاقولي، رفعت جميع الكواشف بعد 4 ساعات. ثم حكت وعدت وكانت النتائج كما هو مبين في الشكل (3-9).



الشكل (3-9) تغير تركيز الآثار على الكواشف الأفقية والعمودية

المرحلة الثالثة

أعيدت التجربة المنفذة في المرحلة الأولى ولكن بكواشف من الدفعة الثانية فكانت النتائج كما هو مبين بالشكل (3-10).



الشكل (3-10) تغير تركيز الآثار بدلالة زمن التعريض

نلاحظ من الشكل ازدياد تركيز الآثار على الكواشف في المجموعات الثلاث بازدياد الزمن، كما ويتبين أيضاً أن تركيز الآثار على الكواشف المثبتة على الجدار أعلى من تركيز الآثار المثبتة

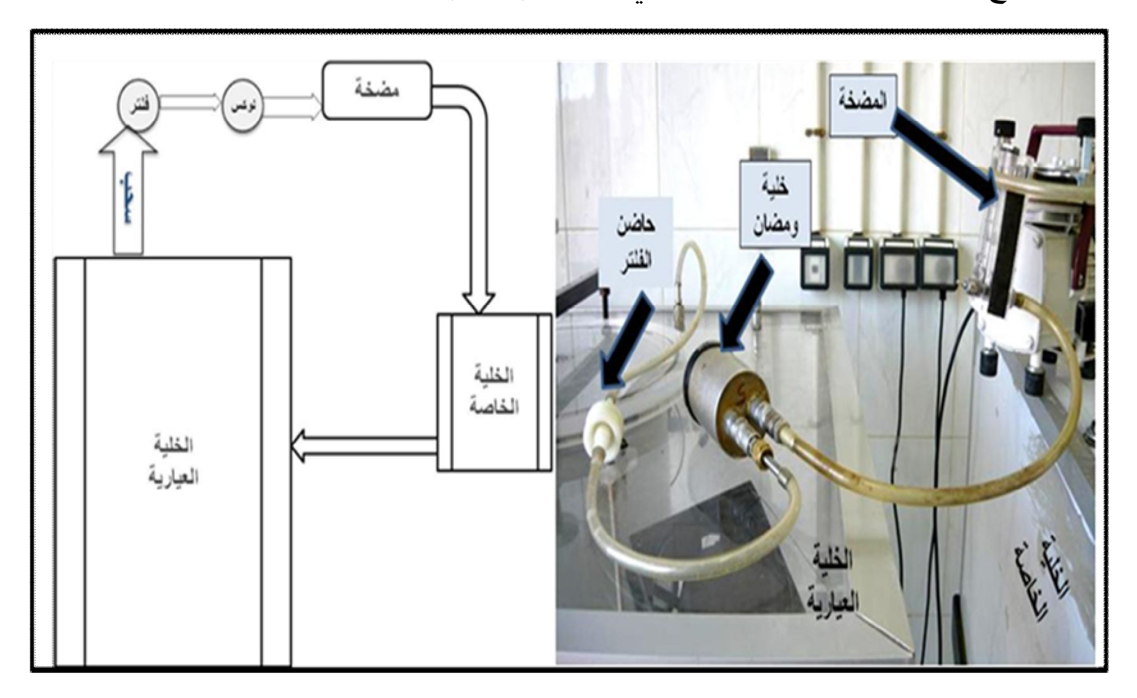
على سطح حجيرة التعريض كما هو الحال في المرحلة الأولى ولكن بخطية أفضل من المرحلة الأولى وذلك ناجم عن التقطيع والترقيم الليزري لكواشف الدفعة الثانية مما قلل العيوب في هذه الكواشف.

تصميم التجارب من أجل تغيير تركيز المعلقات في الهواء وقياس معامل التوازن

تحضير الخلية الخاصة وتعريض كواشف CR-39 وأخذ العينات الآنية:

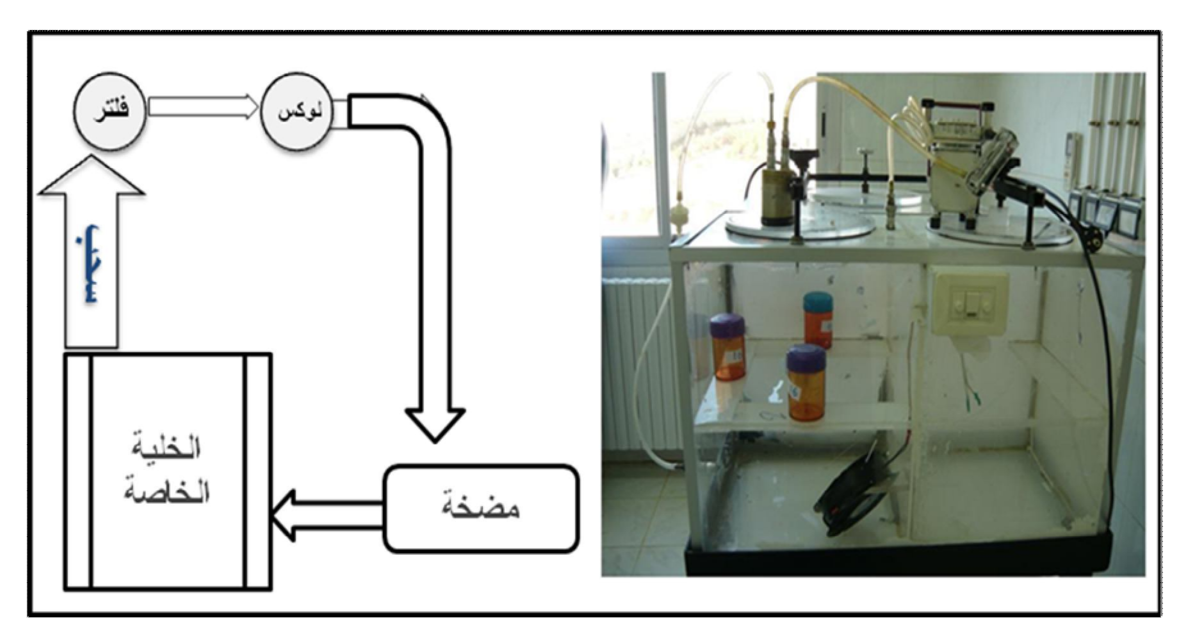
من أجل تغيير تركيز المعلقات في الهواء ودراسة تأثير ذلك على معامل التوازن تم إتباع الخطوات التالية حيث تم إجراء هذه التحضيرات في معظم التجارب اللاحقة.

- تنظف الخلية الخاصة بمسح الجدران بعد فتحها وتبديل الهواء بداخلها.
- تجهز (6) كواشف CR-39 يتم توزيعها على ثلاث حجيرات تعرض رادون بحيث يكون كاشف داخل الحجيرة وكاشف على الغطاء ثم توضع الكواشف داخل الخلية الخاصة ويتم إغلاقها بإحكام.
- تتم عملية تدوير الهواء المحصور داخل الخلية الخاصة على فلتر عبر دارة مغلقة لتقليل المعلقات الهوائية الموجودة. يكون التدوير لمدة 20 min وبمعدل تدفق 30 l/min.
- توصل دارة مغلقة بين الخلية العيارية والخلية الخاصة مروراً بفلتر وخلية ومضان.
- يُدور الرادون من الخلية العيارية بمعدل ضخ ثابت في كل مرة (10 l\min) وبأزمنة ضخ مختلفة وذلك كما هو مبين في الشكل (3-11).



الشكل (3-11):يوضح توصيلات دارة الضخ المغلقة بين الخلية العيارية والخلية الخاصة

- ثم يتم إدخال المعلقات مباشرة وفق المخطط المبين في الشكل (3-11a).
- تشغيل المروحة على السرعة المطلوبة حسب الغرض من التجربة.
- بعد ثلاث ساعات تتحقق حالة من التوازن الدائم بين غاز الرادون ومنتجات تفككه داخل الخلية الخاصة، تسحب عينة هواء على فلتر وخلية لوكس لقياس معامل التوازن F بالطريقة المباشرة وذلك عبر دارة مغلقة أخرى مبينة في الشكل (3-12).
- يتم إخراج الكواشف بعد انقضاء مدة التعريض وتفرغ الخلية من غاز الرادون ويتم تنظيفها، ثم تحك الكواشف وتعد باستخدام المجهر الضوئي ويحسب تركيز الآثار في كل كاشف.



الشكل (3-12) يبين توصيلات دارة سحب العينة من الخلية الخاصة على خلية الومضان والفلتر

توليد المعلقات في هواء الخلية الخاصة

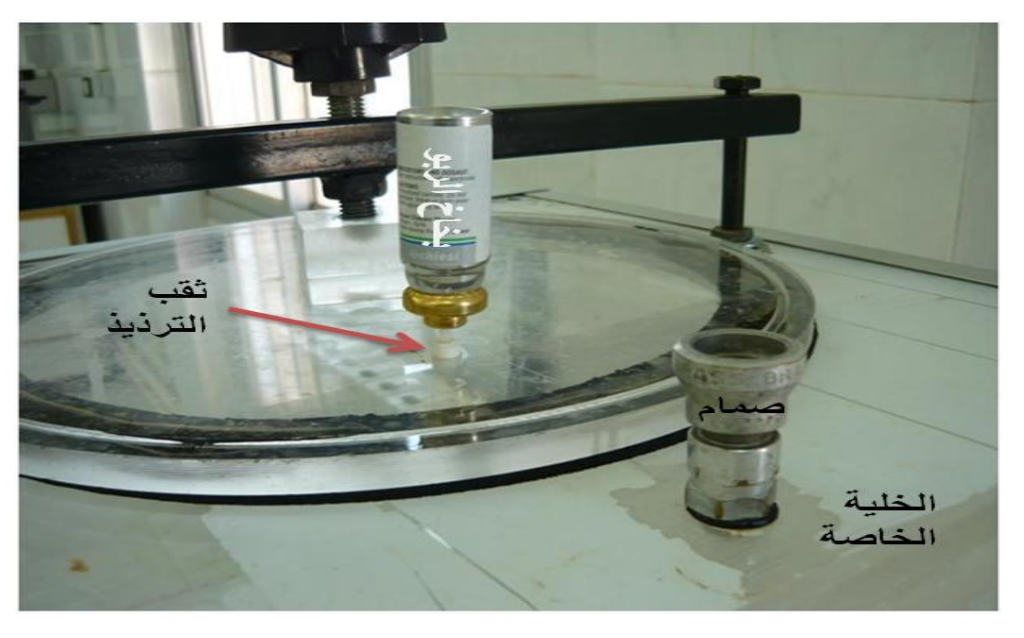
اختيرت عدد من المواد لتوليد المعلقات الهوائية داخل الخلية الخاصة بحيث تتميز جزيئاتها بأقطار صغيرة وأوزان خفيفة وكانت هذه المواد هي غبار، غضار، بودرة، نشارة خشب، نشاء، بولي ريتان (فوم) الشكل (3-13)، تم تجميع هذه المواد من مناطق مختلفة تنتشر فيها المعلقات الهوائية بكثرة، مثل معامل السيراميك التي تنتج غبار يتطاير في كل مكان تم تجميع الغبار من الأماكن المهجورة من المعمل، مصانع العوازل الحرارية ينتج عنها غبار من أجزاء البولي ريتان ويختلط فيها ذرات الألمنيوم نتيجة القص والطحن، وجمعت من أماكن النجارة نشارة الخشب.

- توزن كمية من المادة وتوضع داخل أنبوب زجاجي ذو مخرج دقيق يضم إلى دارة مغلقة قبل الخلية الخاصة. يدور الهواء لمدة 3 min بتدفق 30 l/min. ينطبق هذا العمل على جميع المواد. (الشكل (3-3))
- تم أيضا استخدام مرذاذ على شكل بخاخ وهي مادة صيدلانية يستخدمها مرضى الربو اسمها التجاري (بوتوفنت) الذي يتم وصله بالخلية عبر صمام خاص تم تزويد الخلية الخاصة به لهذه الغاية، تحدد كمية المادة في هذه الحالة بعدد الضغطات المطبقة على المرذاذ كون هذا المرذاذ يقدم كميات متساوية في كل ضغطة (كل عبوة تحوي 200 ضغطة وكل ضغطة تعطي 75mg).

يوضح الشكل (3-13) المواد المستخدمة لتوليد المعلقات. ويوضح الشكل (3-14) كيفية تثبيت المرذاذ في الخلية الخاصة.



الشكل (3-13): المواد التي تم استخدامها لتوليد المعلقات في الخلية الخاصة

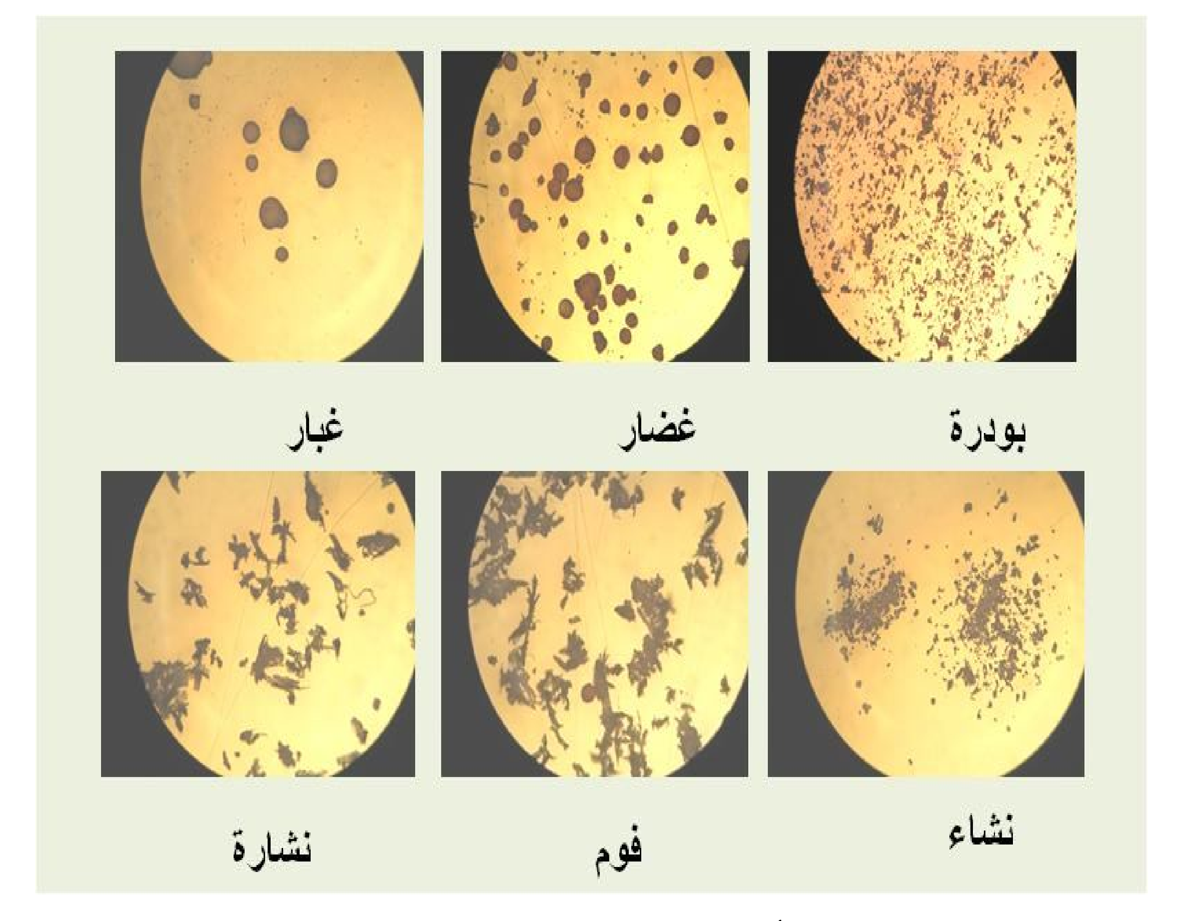


الشكل (3-14): يوضح عملية إدخال المعلقات الهوائية من المرذاذ

- تم تجفيف المواد الصلبة بدرجة حرارة $65^{\circ}C$ ولمدة 24hr قبل استخدامها، كما تم قياس القطر الوسطي لهذه المواد باستخدام مجهر الكتروني. تبين الشكل (3-15) صور مجهريه للمواد الصلبة التي استخدمت لتوليد المعلقات في هواء الخلية الخاصة. ويبين الجدول (3-2) قيم القطر الوسطي المقاس لكل مادة.

جدول (3-2) أقطار جزيئات المواد المستخدمة في عملية الترذيذ

اسم المادة	القطر الوسطي(µm)	الخطأ
بودرة	36.75	14.29
غبار	128.63	59.37
نشاء	11.29	3.05
غضار	99.96	31.86
نشارة	161.70	23.33
فوم	226.47	57.51



الشكل (3-15) صور مجهرية تبين أقطار المواد الصلبة التي استخدمت لتوليد المعلقات في هواء الخلية الخاصة

دراسة تأثير إضافة معلقات إلى الهواء

حضرت الخلية الخاصة وضخ الرادون فيها لمدة 1 min وأخذت عينة أولية من غاز الرادون عبر خلية لوكس وفلتر ثم بعد ثلاث ساعات العينة النهائية عبر خلية وفلتر جديدين يؤخذ الفلتر ويحسب تركيز منتجات تفكك الرادون بطريقة تسايفكلو، وتسحب كواشف CR-39 بعد فترة التعريض قدرها أربع ساعات في كل مرة.

تقاس خلفية خلية لوكس في كل مرة قبل استخدامها، ثم تعد ثلاث مرات بمعدل 5min لكل عدة وذلك بعد مرور ثلاث ساعات على نهاية ضخ العينة.

يحسب تركيز الرادون ومنتجات تفككه وفق المعادلات (2-8) و(2-10) الواردة في الفصل الثاني ومعامل التوازن F وفق المعادلة (2-7).

يبين الجدول (3-3) قيم تركيز منتجات تفكك الرادون وتركيز غاز الرادون وقيمة معامل التوازن المحسوبة وتركيز الآثار على الكاشف الخارجي (D) وتركيز الآثار على الكاشف الداخلي (D_0) من أجل حالة ضخ الرادون فقط دون إضافة أي معلقات إلى الخلية الخاصة.

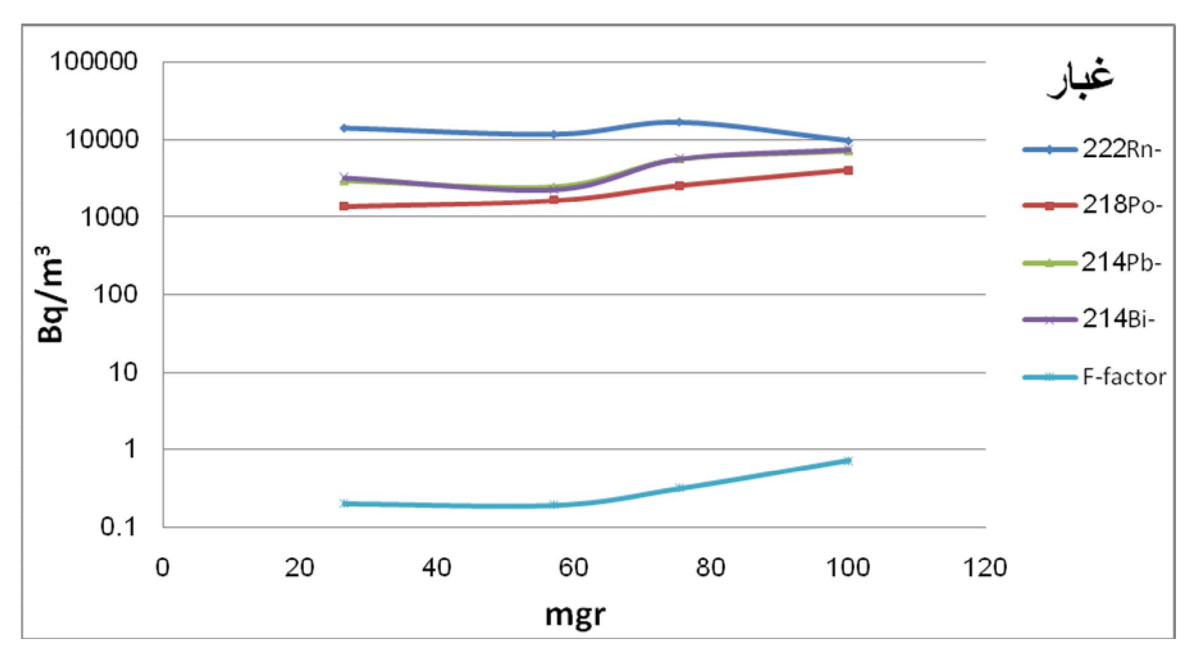
الجدول (3-3) يبين القيم المحسوبة بدون إضافة معلقات

F	(Bq/m^3)				(Tr/cm^2)	
	^{214}Bi	^{214}Pb	^{218}Po	^{222}Rn	D	D_0
0.116	2629	2268	732	14664	1166	862

إن قيمة F المحسوبة داخل الخلية الخاصة في هذه الحالة هي (0.116) وهي قيمة منخفضة عند مقارنتها بقيم F المرجعية من أجل الهواء الطلق (0.4). وربما يعود ذلك لانخفاض تركيز النلقات الهوائية ضمن الخلية الخاصة نظراً للقيام بعمليات تنظيف لهذه الخلية إن كان تنظيفاً يدوياً أو عبر سحب عينة كبيرة من الهواء عبر الفلتر المناسب كما ذكر في آلية العمل سابقاً.

الغبار

جرى ترذيذ أوزان مختلفة من مادة الغبار المجمع من أماكن مهجورة في معامل السيراميك وذلك وفق برتوكول العمل المذكور سابقاً. يبين الشكل (3-16) قيم تركيز الرادون ومنتجات تفككه وقيمة معامل التوازن من أجل ترذيذ أوزان مختلفة من مادة الغبار داخل الخلية الخاصة.



الشكل (3-16) قيم تركيز الرادون ومنتجات تفككه وقيمة معامل التوازن من أجل ترذيذ أوزان مختلفة من مادة الغبار

نلاحظ من هذا الشكل تزايد قيمة معامل التوازن مع ازدياد وزن عينة الغبار مما يدل على التصاق منتجات تفكك الرادون على جزيئات الغبار المعلقة في الهواء. كما نلاحظ من الشكل وصول معامل التوازن للقيمة (F=0.7) من أجل الوزن 100 mgr، كما يبين الشكل أن تركيز منتجات تفكك الرادون يزداد بشكل متجانس مع ازدياد وزن مادة الغبار. كما بين الشكل الثبات التقريبي لقيمة تركيز غاز الرادون ضمن الخلية الخاصة بغض النظر عن تركيز المعلقات فيها وهذا ما هو متوقع ذلك أن قياس الرادون مستقل تماماً عن قياسات نواتج التفكك.

يبين الجدول (3-4) النتائج التي حصل عليها من الكواشف البلاستيكية التي عرضت ضمن الخلية الخاصة لمدة 4 ساعات وذلك من أجل الكواشف الموضوعة ضمن الحجيرة (D_0) وخارج الحجيرة (D)

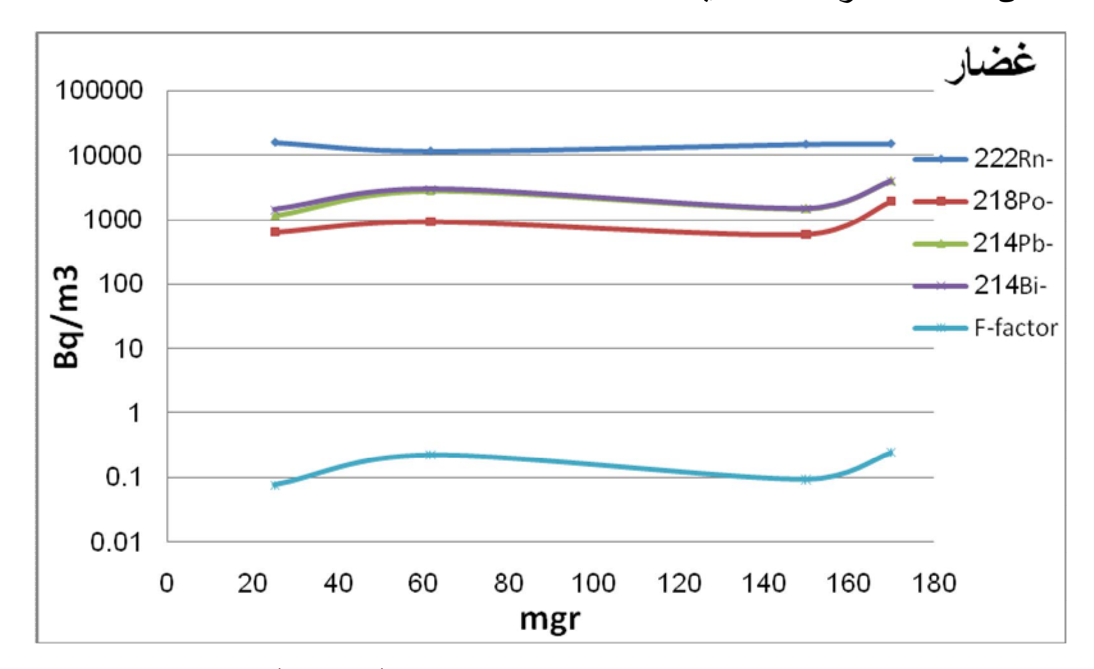
الجدول (3-4) تغير تركيز الآثار مع تغير قيمة معامل التوازن من أجل أوزان مختلفة من الغبار

F factor	D_0(Tr\cm^2)	D(Tr\cm^2)	Rn(Bq/m^3)	وزن الغبار(mgr)
0.204	528	1166	14035	26
0.195	449	831	11687	57
0.316	688	870	16687	75.3
0.719	376	707	9670	100

يتضح من الجدول أنه بازدياد وزن مادة الغبار تزداد قيمة معامل التوازن ويتناقص تركيز الآثار على الكواشف الخارجية فيما تبقى تركيز الآثار ضمن الحجيرة ثابتة نوعاً ما. وبالتالي فإن وجود المعلقات الهوائية يزيد من تعلق منتجات تفكك الرادون في الهواء ويقلل من ترسبها على السطوح.

الغضار

جرى ترذيذ أوزان مختلفة من مادة الغضار وذلك وفق بروتوكول العمل المذكور سابقاً. يبين الشكل (3-17) قيم تركيز الرادون ومنتجات تفككه وقيمة معامل التوازن من أجل ترذيذ أوزان مختلفة من مادة الغضار داخل الخلية الخاصة.



الشكل (3-17) قيم تركيز الرادون ومنتجات تفككه وقيمة معامل التوازن من أجل ترذيذ أوزان مختلفة من مادة الغضار

نلاحظ من هذا الشكل عدم وجود تغير كبير في قيمة معامل التوازن مع ازدياد وزن عينة الغضار، كما نلاحظ من الشكل وصول معامل التوازن للقيمة (F=0.25) من أجل الوزن 175mgr. مما يدل على أن هذه المادة ثقيلة وتترسب حبيباتها بسرعة مما يقلل من تأثيرها على معامل التوازن. كما بين الشكل الثبات التقريبي لقيمة تركيز غاز الرادون ضمن الخلية الخاصة بغض النظر عن تركيز المعلقات فيها.

يبين الجدول (3-5) النتائج التي حصل عليها من الكواشف البلاستيكية التي عرضت ضمن الخلية الخاصة لمدة 4 ساعات وذلك من أجل الكواشف الموضوعة ضمن الحجيرة (D_0) وخارج الحجيرة (D)

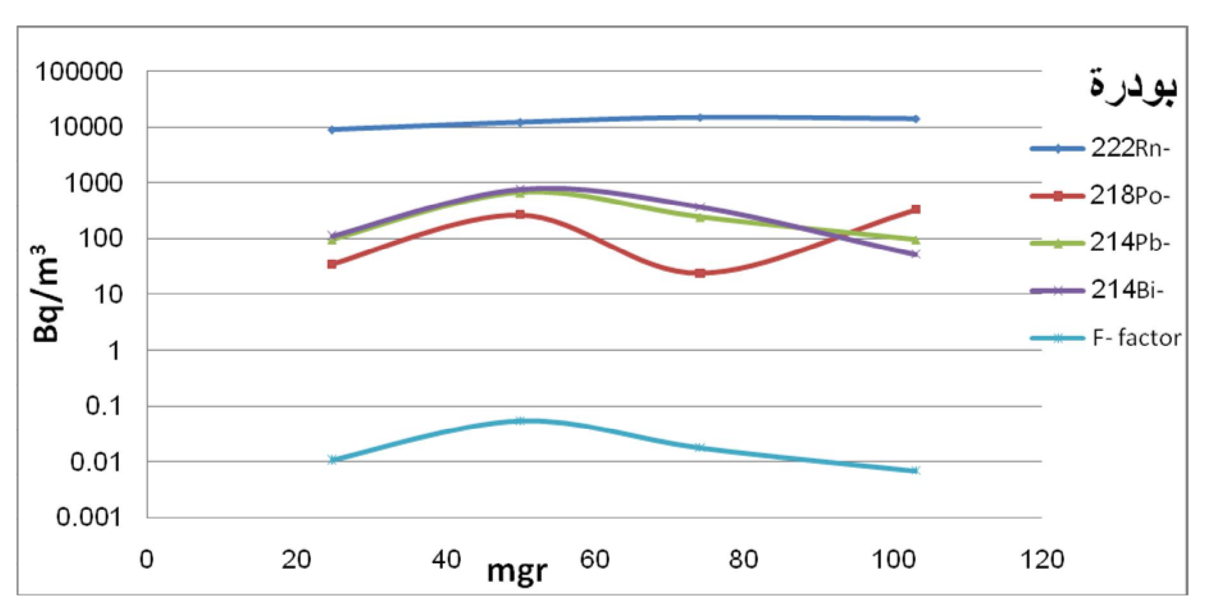
الجدول (3-5) يبين تغير تركيز الآثار مع تغير قيمة معامل التوازن من أجل أوزان مختلفة من الغضار

F factor	D_0(Tr\cm^2)	D(Tr\cm^2)	Rn(Bq/m^3)	وزن الغضار(mgr)
0.078	536	1056	15816	25
0.23	443	1109	11674	62
0.34	584	974	17590	100

يتضح من الجدول أن قيمة معامل التوازن تتغير من أجل أوزان مختلفة من مادة الغضار ولكن عند وزن (100 mgr) من الغبار كانت قيمة معامل التوازن (F=0.71) بينما في حالة الغضار وعند نفس الوزن (F=0.34) وهذا يدل على أن جزيئات الغبار بقيت معلقة في الهواء في حين ترسبت في حالة الغضار بشكل أكبر وهذا يعني أن الغبار أخف من الغضار ويساهم بشكل هام في قيمة معامل التوازن. كما نلاحظ أن تركيز الآثار على الكواشف الخارجية يتناقص مع ازدياد قيمة معامل التوازن في حين يبقى تركيز الآثار على الكاشف الداخلي ثابت إلى حدٍ ما.

البودرة

جرى ترذيذ أوزان مختلفة من مادة البودرة وذلك وفق برتوكول العمل المذكور سابقاً. يبين الشكل (3-18) تغير تركيز غاز الرادون ومنتجات تفككه وقيمة معامل التوازن من أجل ترذيذ أوزان مختلفة من مادة البودرة داخل الخلية الخاصة.

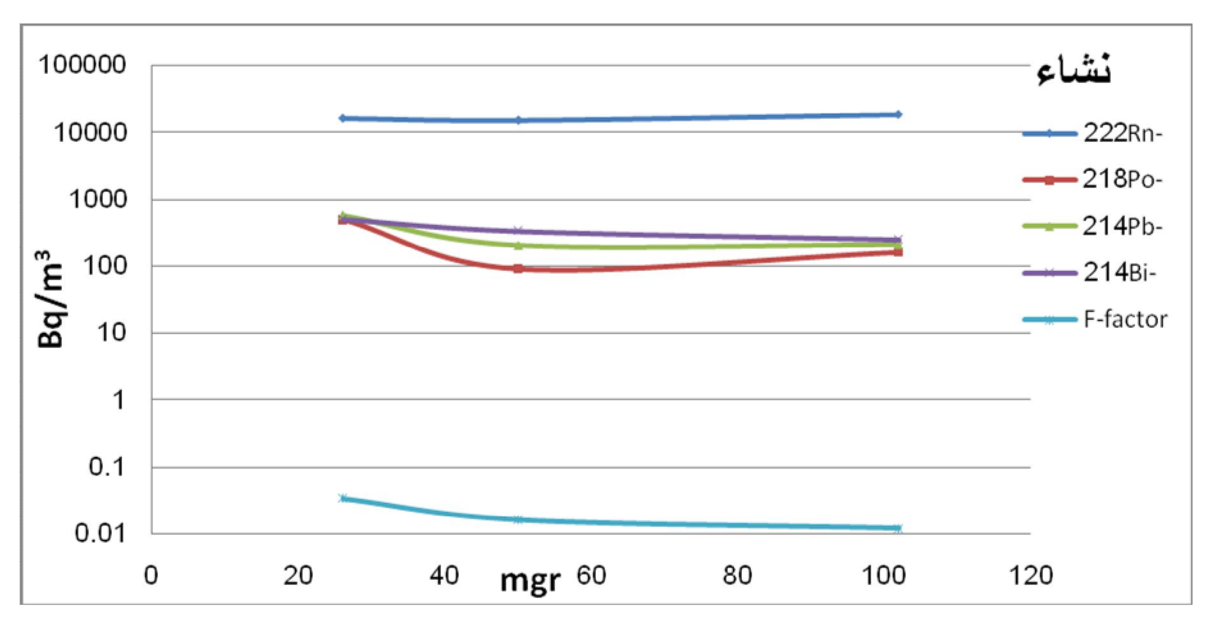


الشكل (3-18) قيم تركيز الرادون ومنتجات تفككه وقيمة معامل التوازن من أجل ترذيذ أوزان مختلفة من مادة الغضار

لم يقدم الترذيذ بواسطة البودرة أي تحسن على معامل التوازن وبقيت القيم دون 0.1. وهذا يعني أن حبيبات البودرة قد سلكت سلوكاً مشابهاً لسلوك الغضار.

النشاء

جرى ترذيذ أوزان مختلفة من مادة النشاء وذلك وفق برتوكول العمل المذكور سابقاً. يبين الشكل (3-19) قيم تركيز الرادون ومنتجات تفككه وقيمة معامل التوازن من أجل ترذيذ أوزان مختلفة من مادة النشاء داخل الخلية الخاصة.

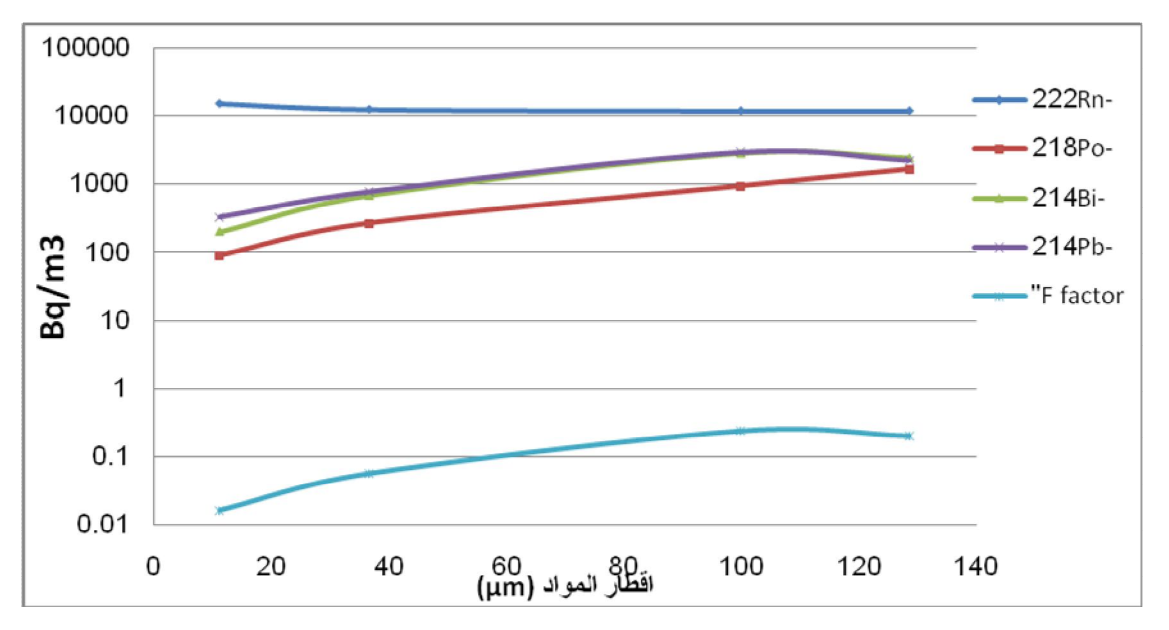


الشكل (3-19) قيم تركيز الرادون ومنتجات تفككه وقيمة معامل التوازن من أجل ترذيذ أوزان مختلفة من مادة النشاء

نلاحظ من هذا الشكل تناقص قيمة معامل التوازن وتركيز منتجات تفكك الرادون مع ازدياد وزن عينة النشاء مما يدل على ترسب منتجات تفكك الرادون المعلقة بجزيئات النشاء في الهواء.

الأقطار

تم إجراء مقارنة بين كل من قيمة معامل التوازن وتركيز منتجات تفكك الرادون وتركيز غاز الرادون مع القطر الوسطي لكل المواد التي تم ترذيذها يبين الشكل (3-20) تغير تركيز الرادون ومنتجات تفككه وتغير معامل التوازن من أجل 50mgr من مواد الترذيذ بدلالة أقطار المواد المختلفة.



الشكل (3-20) تغير قيم تركيز الرادون ومنتجات تفككه وقيمة معامل التوازن مع تغير أقطار المواد

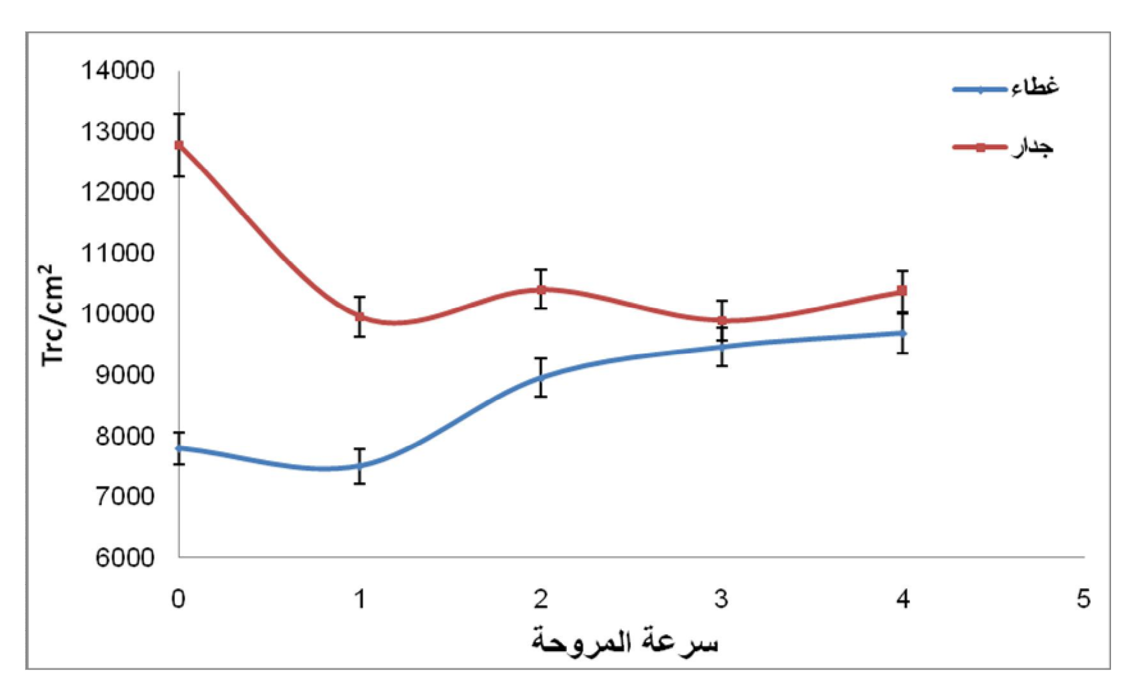
يبين الشكل أن قيمة معامل التوازن وتركيز منتجات تفكك الرادون تزداد بازدياد القطر الوسطي المادة مما يدل على ازدياد ارتباط منتجات تفكك الرادون بالمواد مع ازدياد القطر الوسطي لحبيبات المادة، كما يبين من الشكل الثبات التقريبي لقيمة تركيز غاز الرادون ضمن الخلية الخاصة بغض النظر عن القطر الوسطي المعلقات.

دراسة تأثير تشغيل مراوح على معامل التوازن

دون ترذيذ أي مادة في الخلية العيارية

استخدم في هذه التجربة (16) كاشف من كواشف الدفعة الأولى وزعت على أربع مجموعات حيث تتألف كل مجموعة من أربعة كواشف، وضع كاشفان بشكل أفقي على غطاء الحجيرة وآخران شاقوليان على الجدار الخارجي للحجيرة. عرضت كل مجموعة داخل الخلية العيارية على حدا وتم تشغيل المروحة الموجودة في الزاوية السفلية من الخلية العيارية، عرضت كواشف كل مجموعة لمدة 4 ساعات بحيث تختلف سرعة المروحة بين مجموعة وأخرى، ثم حكت الكواشف وعدت فكانت النتائج كما هو مبين بالشكل (3-21).

ملاحظة السرعة الأولى هي أخفض سرعة والسرعة الرابعة هي أقصى سرعة



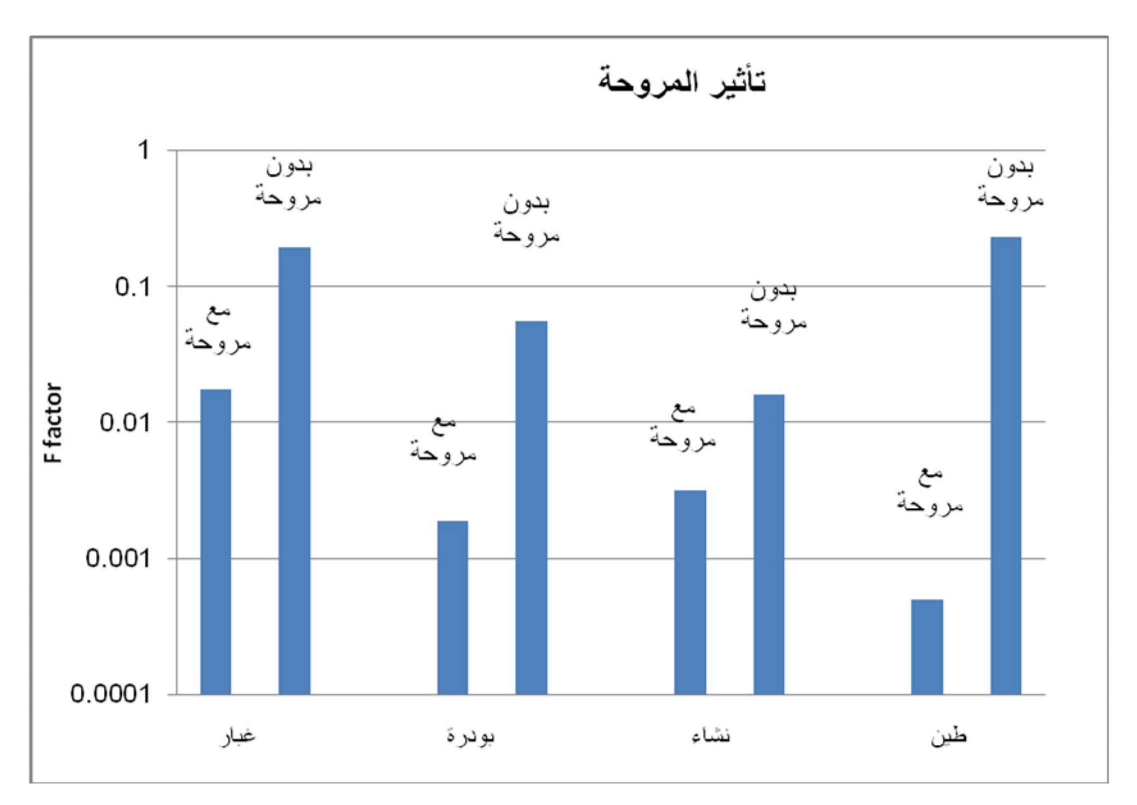
الشكل (3-21) تغير تركيز الآثار مع تغير سرعة المروحة

يبين الشكل انخفاض الفارق بين تركيز الآثار على كواشف الغطاء وكواشف الجدار مع ازدياد سرعة المروحة، علماً أن تركيز الآثار على سطح كواشف الجدار بقيت أعلى من كواشف الغطاء. أي أن توزع منتجات تفكك الرادون يصبح أكثر تجانساً مع ازدياد سرعة المروحة.

ربما هناك حاجة لإجراء المزيد من البحث لتفسير الاختلاف في تركيز الآثار بين الكواشف المثبتة على سطح الحجيرة والكواشف المثبتة على الجدار.

ترذيذ مواد ذات أقطار مختلفة في الخلية الخاصة

تم تحضير الخلية الخاصة وتشغيل المروحة على سرعة منخفضة وضخت أوزان متساوية من مواد مختلفة في كل تجربة، سحبت الكواشف بعد 4hr وحكت وعدت. يبين الشكل (3-22) تغير قيمة معامل التوازن قبل وبعد تشغيل المروحة على أخفض سرعة وبوجود وزن ثابت (50mgr) لكل مادة من المواد التي تم ترذيذها.



الشكل (3-22) تأثير المروحة على قيمة معامل التوازن بضخ كميات متساوية من المعلقات المختلفة.

نلاحظ من الشكل تناقص قيمة معامل التوازن عند تشغيل المروحة مما يدل على ازدياد ترسب المعلقات المشعة على السطوح. ويمكن أن يكون السبب هو أن الترسيب الميكانيكي أقل من الترسيب بسبب الالتصاق الكهربائي، هذا يمكن ملاحظته في الشكلين (3-8) و(3-10) حيث يتبين أن تركيز الآثار على الجدار أعلى من تركيز الآثار على الغطاء، وبالتالي فإن تشغيل المروحة يسرع من عملية التصاق منتجات تفكك الرادون على السطوح.

يبين الجدول (3-6) النتائج التي حصل عليها من الكواشف البلاستيكية التي عرضت ضمن الخلية الخاصة لمدة 4 ساعات عند وزن محدد من كل مادة في الحالتين مع وبدون تشغيل المروحة، وذلك من أجل الكواشف الموضوعة ضمن الحجيرة (D_0) وخارج الحجيرة (D)

الجدول (3-6) يبين تغير تركيز الآثار مع تغير قيمة معامل التوازن من أجل حالتين مع وبدون مروحة

نوع المادة	الوزن	$D(Tr\backslash cm^2)$	$D_0(Tr\backslash cm^2)$	F factor
غبار	57	679	449	0.195
غبار مع مروحة	50	581	435	0.0174
غضار	100	974	499	0.34

غضار مع مروحة	100	660	529	0.0005

يتضح من الجدول أن قيمة معامل التوازن تختلف بشكل كبير في كلا الحالتين حيث تنخفض قيمة معامل التوازن عند تشغيل المروحة مما يدل على الترسب الكبير لمنتجات تفكك الرادون في هذه الحالة. وبالمقارنة بين تركيز الآثار على الكواشف الخارجية نلاحظ تناقص تركيز الآثار على الكواشف الخارجية مما يدل على ترسب منتجات تفكك الرادون على السطوح، بينما تركيز الآثار على الكواشف الداخلة يبقى متجانساً إلى حدٍ ما.

يبين الجدول (3-7) النتائج التي حصل عليها من الكواشف البلاستيكية التي عرضت ضمن الخلية الخاصة لمدة 4 ساعات وذلك من أجل الكواشف الموضوعة ضمن الحجيرة (D_0) وخارج الحجيرة (D)، وتغير كل من قيمة معامل التوازن وتغير تركيز الآثار على الكواشف الداخلية (D_0) وذلك عند ترذيذ مواد مختلفة وتشغيل المروحة على أخفض سرعة.

الجدول (3-7) يبين تغير تركيز الآثار مع تغير قيمة معامل التوازن من أجل مواد مختلفة وبتشغيل المروحة

نوع المادة	القطر(µm)	الوزن(mgr)	$D(Tr\backslash cm^2)$	$D_0(Tr\backslash cm^2)$	F
نشاء	11.29	56	640	402	0.00317
بودرة	39.75	60	636	464	0.00186
غضار	99.96	100	660	529	0.0005
غبار	128.63	50	581	435	0.0174
نشارة	161.70	50	798	628	0.0021
فوم	226.47	50	1101	741	0.0017
فوم منخول	226.47	50	799	503	0.00047

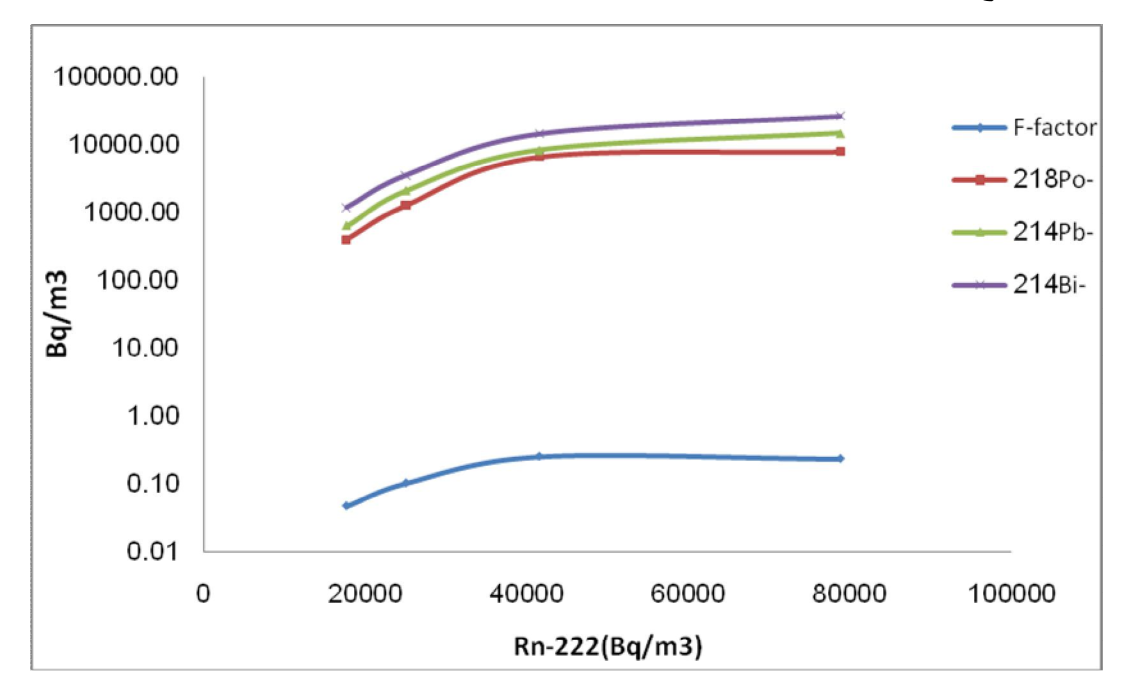
يتبين من الجدول أنه عند تشغيل المروحة وبازدياد قطر المادة المرذذة تتناقص قيمة معامل التوازن ويزداد تركيز الآثار على سطح الكاشف الخارجي وهذا يتفق مع النتائج السابقة من أجل تشغيل المروحة التي تزيد من ترسب منتجات تفكك الرادون على السطوح، كما يتبين أنه من أجل مادة الغبار نحصل على أكبر قيمة لمعامل التوازن (F=0.0174) وتركيز الآثار على الكاشف الخارجي أقل من باقي الكواشف الخارجية.

كانت مجموعة من الكواشف في بعض المراحل من العمل سيئة جداً وصعبة العد بسبب التشوهات الناتجة الضغط الميكانيكي عليها الناتج عن عمليتي التقطيع والترقيم اليدوي.

دراسة تغير تركيز الرادون مع معامل التوازن:

في هذه المرحلة من العمل تم أجراء بعض التغييرات على الخطوات التحضيرية حيث تم تجهيز (6) كواشف CR-39 من الدفعة الثانية وتم توزيعها على ثلاث حجيرات مربعة الشكل (3-4) وغير مزودة بفلتر حيث وضع كاشف داخل العلبة وكاشف على الغطاء، كما تم ضخ الرادون إلى الخلية الخاصة من الخلية العيارية عبر دارة مغلقة مبينة سابقاً بالشكل (3-11) بأزمنة ضخ مختلفة عبر فلتر وخلية الومضان وبعد ثلاث ساعات تم سحب عينة من الخلية الخاصة عبر فلتر وخلية ومضان جديدين بالضخ عبر دارة مغلقة مبينة بالشكل (4-13) لمدة 1min وتم حساب تركيز منتجات تفكك الرادون باستخدام المعادلات العامة (2-8)، تعد خلية لوكس بعد مرور ثلاث ساعات على نهاية الضخ ويحسب تركيز الرادون ومنتجات تفككه ومعامل التوازن F، سحبت كواشف CR-39 بعد (22hr) تقريباً.

يبين الشكل (3-23) تغير تركيز منتجات تفكك الرادون ومعامل التوازن مع تغير تركيز الرادون من اجل ضخ تركيز متغير من غاز الرادون.

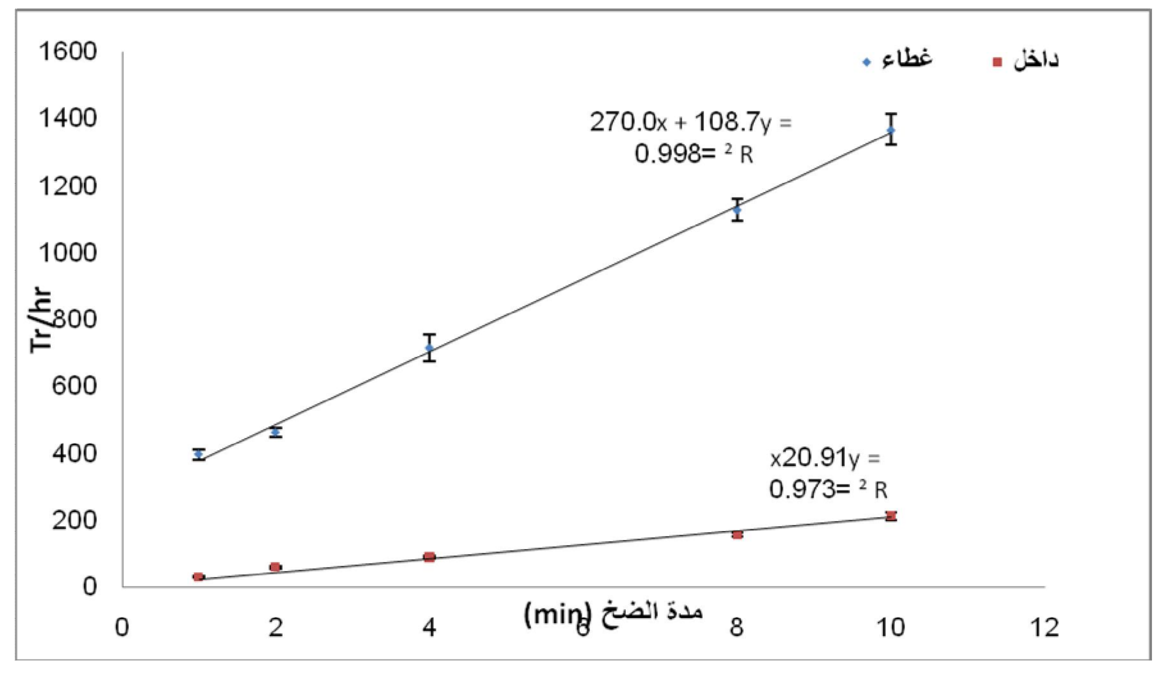


الشكل (3-23) تغير تركيز منتجات تفكك الرادون ومعامل التوازن مع تغير تركيز الرادون

يتبين من الشكل أنه بازدياد تركيز الرادون يزداد كل من معامل التوازن وتركيز منتجات تفكك الرادون حتى نحصل على ثبات في قيم معامل التوازن ومنتجات تفكك الرادون مما يدل على أن الترسيب وصل إلى قيمة حدية وأي زيادة في تركيز الرادون وبالتالي زيادة في تركيز منتجات

تفككه تسبب اصطدام والتصاق وترسب أكبر بحيث تبقى المنتجات تفكك المعلقة في الهواء ومعامل التوازن ثابتة إلى حدٍ ما.

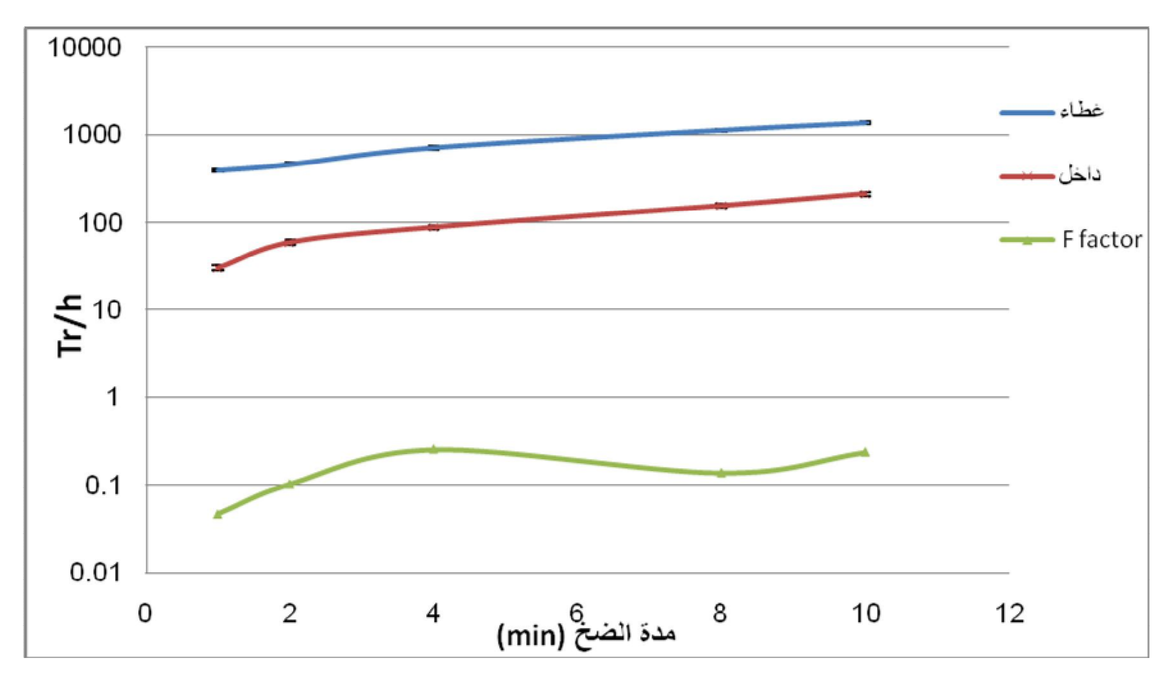
يبين الشكل (3-24) تغير تركيز الآثار بدلالة تغير زمن الضخ.



الشكل (3-24) تغير تركيز الآثار ومع تغير زمن الضخ.

يبين الشكل زيادة في تركيز الآثار على الكواشف الداخلية والخارجية بازدياد زمن الضخ، أي بزيادة تركيز الرادون.

الشكل (3-25) يبين تغير تركيز الآثار على الكاشفين الداخلي والخارجي وتغير معامل التوازن مع تغير زمن الضخ.

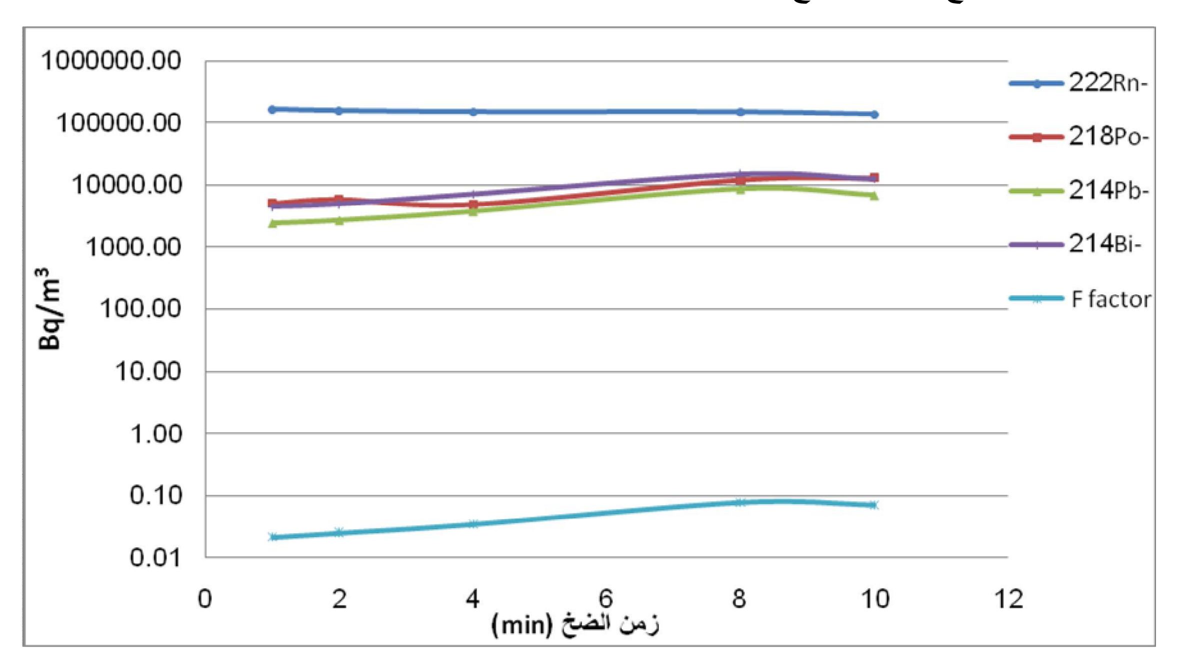


الشكل (3-25) تغير تركيز الآثار على الكاشف الداخلي والخارجي ومعامل التوازن مع مدة الضخ

يبين الشكل أن تركيز الآثار على الكاشف الخارجي والداخلي يتغير مع تغير قيمة معامل التوازن

تم في هذه المرحلة حساب كل من تركيز الرادون ومنتجات تفكك الرادون ومعامل التوازن داخل الخلية العيارية من أجل كل عملية ضخ من الخلية العيارية باستخدام المعادلات العامة.

الشكل (3-26) يبين تغير كل من تركيز غاز الرادون ومنتجات تفككه ومعامل التوازن في الخلية العيارية مع أزمنة الضخ المختلفة.



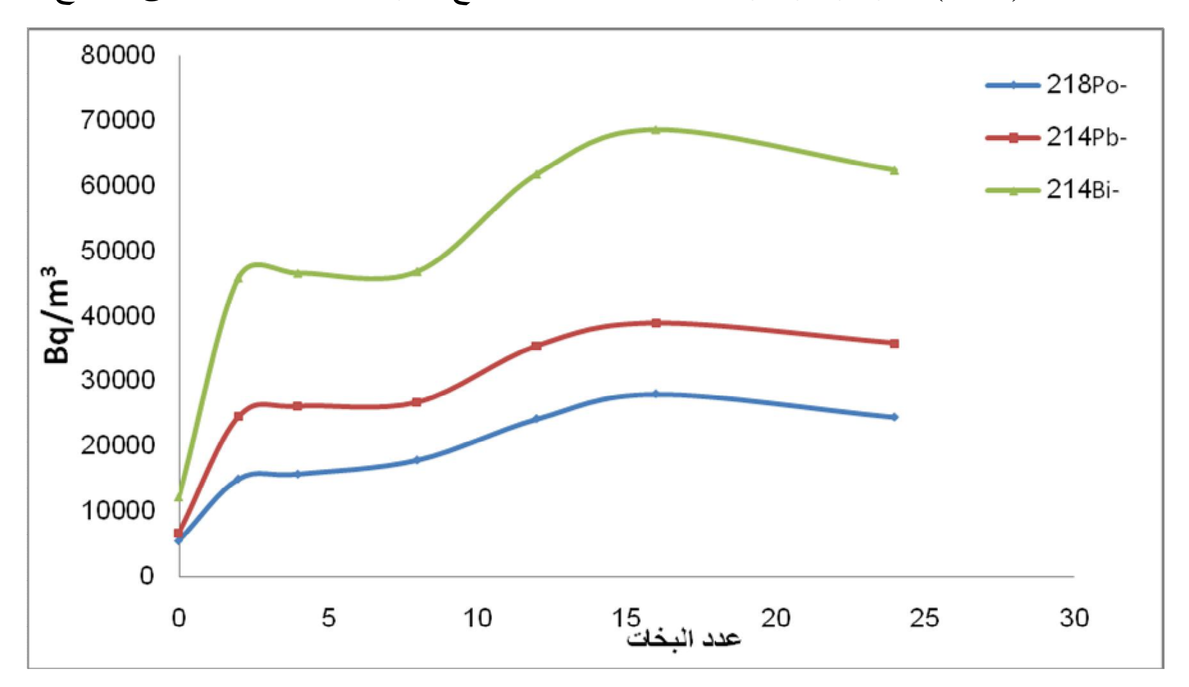
الشكل (3-26) تغير تركيز الرادون ومنتجات تفككه ومعامل التوازن في الخلية العيارية مع تغير زمن الضخ

دراسة تأثير إضافة بخاخ الربو إلى الهواء وتغير معامل التوازن :

تم تحضير الخلية الخاصة تماماً كما في المرحلة السابقة، حيث تم تجهيز 6 كواشف CR-39 من الدفعة الثانية وتم توزيعها على ثلاث حجيرات مربعة الشكل وغير مزودة بفلتر حيث وضع كاشف داخل العلبة وكاشف على الغطاء، تم ضخ الرادون إلى الخلية الخاصة لمدة 4min عبر فلتر وخلية الومضان وتم مباشرة بعد عملية الضخ الضغط على البخاخ عدد محدد من الضغطات في كل تجربة وبعد ثلاث ساعات تم سحب عينة عبر فلتر وخلية ومضان جديدين بالضخ عبر دارة مغلقة لمدة 1min وتم حساب تركيز منتجات تفكك الرادون باستخدام المعادلات العامة، وعدت خلية لوكس بعد ثلاث ساعات، وسحبت كواشف CR-39 بعد (22hr) تقريباً.



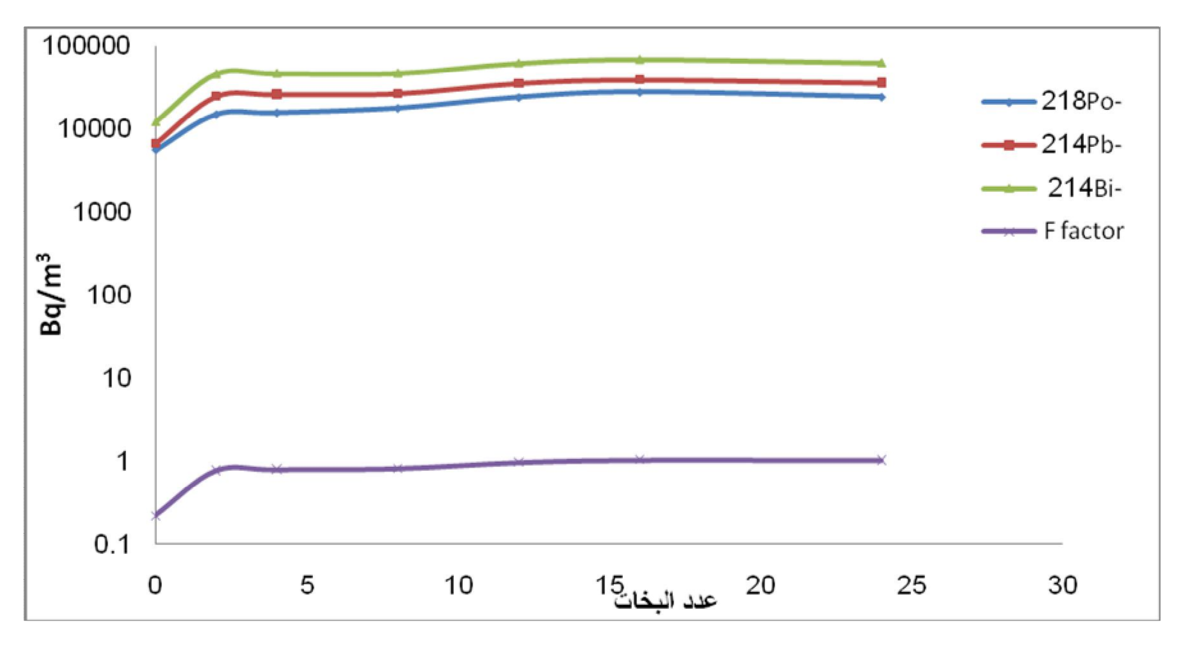
يبين الشكل (3-27) تغير تركيز الرادون ومنتجات تفككه مع تغير عدد الضغطات على البخاخ.



الشكل (3-27) تغير تركيز منتجات تفكك الرادون مع تغير عدد الضغطات على البخاخ.

يتبين من الشكل أن تركيز منتجات تفكك الرادون تزداد بازدياد عدد الضغطات على البخاخ.

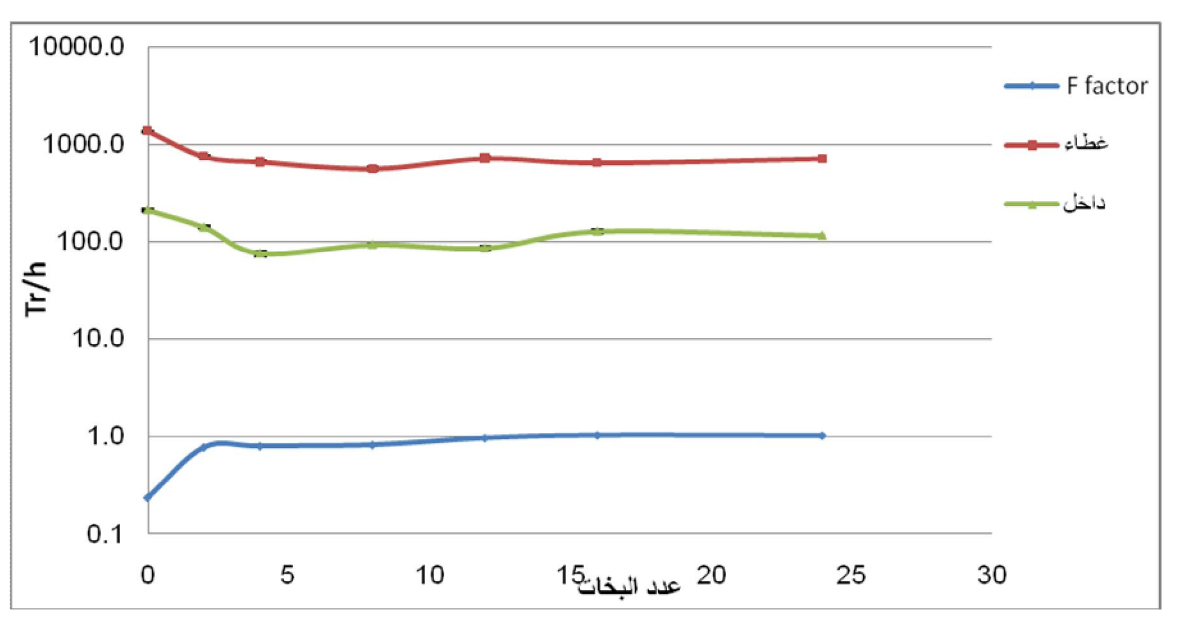
يبين الشكل (3-28) تغير تركيز الرادون ومنتجات تفككه ومعامل التوازن مع تغير عدد الضغطات على البخاخ.



الشكل (3-28) تغير تركيز منتجات تفكك الرادون ومعامل التوازن مع تغير عدد الضغطات على البخاخ.

يلاحظ من الشكل وصول غاز الرادون ومنتجات تفكك إلى حالة التوازن التام أي أن قيمة معامل التوازن (F=1) عند الضغط على البخاخ بين (15-25) مرة مما يعني أن هذا البخاخ حقق تعلق جميع منتجات تفكك الرادون في الهواء.

الشكل (3-29) تغير التركيز المحسوب على الكواشف الداخلية والخارجية وذلك بعد تحويل تركيز الآثار المسجلة على الكاشف إلى وحدة ($Bq*h/m^3$)، ومقارنة تغير قيمة معامل التوازن مع تغير عدد الضغطات على البخاخ.

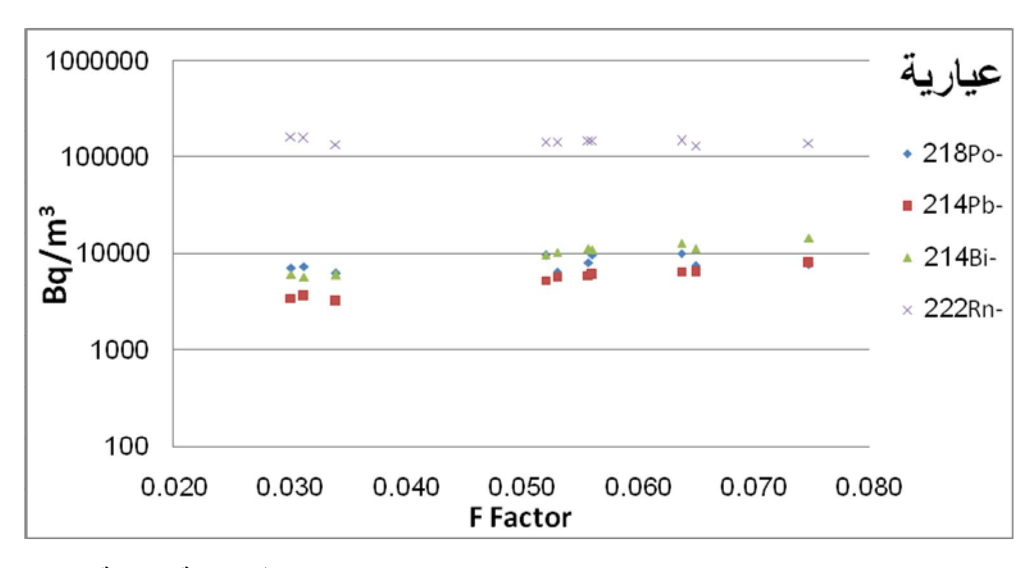


الشكل (3-29) تغير تركيز الآثار على الكاشف الداخلي الخارجي ومعامل التوازن مع عدد الضغطات على البخاخ.

يتبين من الشكل وصول معامل التوازن إلى التوازن التام بالضغط على البخاخ أكثر من 12 مرة كما يلاحظ ثبات في تركيز الآثار على الكواشف الخارجية وبما أن تركيز الرادون ثابت هذا يبين ثبات في تركيز منتجات تفكك الرادون المسجلة على الكواشف

تم حساب كل من تركيز الرادون ومنتجات تفكك الرادون ومعامل التوازن داخل الخلية العيارية من أجل كل عملية ضخ من الخلية العيارية باستخدام المعادلات العامة.

الشكل (3-30) يبين تغير كل من تركيز غاز الرادون ومنتجات تفككه ومعامل التوازن في الخلية العيارية.



الشكل (3-30) تغير تركيز الرادون ومنتجات تفككه مع معامل التوازن في الخلية العيارية

الفصل الرابع

الخاتمة والتوصيات

الخاتمة:

جرى في هذا العمل دراسة معامل التوازن، واستخدام بعض المتغيرات بغية الحصول على قيم مختلفة لمعامل التوازن، ولإنجاز ذلك تم استخدام كلاً من طريقة سحب العينات الآنية وكواشف الأثر النووي في الحالة الصلبة CR-39.

بينت النتائج أنه بشكل عام تتغير قيمة معامل التوازن مع تغير كل من تركيز غاز الرادون وتركيز المعلقات الهوائية. وقد كانت قيمة معامل التوازن تتأثر بشكل مختلف تبعاً لنوع المواد المستخدمة في توليد المعلقات الهوائية، حيث كانت مادة الغبار ذات أهمية بين المواد وقد ارتفعت قيمة معامل التوازن إلى (F=0.7)، وكانت مادة بخاخ الربو ذات استجابة كبيرة وقد تحقق باستخدامها الوصول إلى حالة التوازن التام بين غاز الرادون ومنتجات تفككه.

لقد أظهر وجود ارتفاع في قيم تركيز الآثار على كواشف CR-39 المثبتة على الجدار بشكل شاقولي، أهمية الالتصاق الكهربائي مقارنة مع الترسيب الميكانيكي. لوحظ أن تشغيل المروحة أدى إلى انخفاض في قيمة معامل التوازن بشكل كبير مما يبين أن ترسيب منتجات تفكك الرادون على السطوح والجدران يتأثر بشكل أساسي بوجود التهوية، كما كان للمروحة أيضاً أهمية في تقليل الفرق بين تركيز الآثار على الكواشف الشاقولية والأفقية.

إن استخدام المعادلات العامة في هذا العمل كان مفيد جداً رغم صعوبة وتعقيد الحسابات فيها، وذلك لأنها تسمح باختيار أزمنة ضخ مختلفة. بينما في طريقة تسايفكلو كان يسبب زمن الضخ (10min) خسارة كبيرة في تركيز المعلقات الهوائية وبالتالي تصبح المقارنة بين الطريقتين الآنية والتراكمية غير دقيقة.

كان زمن تعريض الكواشف ذو أهمية كبيرة، حيث تم التعريض في المراحل الأولى من العمل لمدة (4hr)، وكانت نتائج الكواشف لا تعبر بشكل مفيد عن التراكمات خلال هذا الزمن. لذلك تم في المراحل الأخرى التعريض لمدة (22hr)، وتم حساب التركيز بوحدة الزمن، ووجد تجانس أكبر في تركيز الآثار على الكواشف المعرضة بنفس الشروط.

من المشاكل التي تم مواجهتها في هذا العمل استخدام التقطيع والترقيم اليدوي لكواشف الدفعة الأولى، مما أدى إلى عيوب في سطح الكاشف وصعوبة في عد الآثار، ومن الصعوبات التي تم مواجهتها أيضاً في هذا العمل أيضاً صعوبة سحب أكثر من عينة واحدة فقط نتيجة لأن سحب العينة يؤدي إلى خلل في تركيز المعلقات الهوائية، وبالتالي عدم التمكن من قياس معامل التوازن خلال أزمنة مختلفة.

ومنه كان من الصعب جداً إيجاد طريقة لدراسة معامل التوازن باستخدام كواشف الأثر النووي (SSNTDs) وخاصة في حالات التراكيز المنخفضة لغاز الرادون وعليه كان من الصعب دراسة معامل التوازن في هواء الجو المحيط باستخدام كواشف الأثر النووي لأن تركيز غاز الرادون في الهواء الطلق منخفض جداً بالمقارنة مع الأوساط الأخرى التي تم اختبارها.

التوصيات

1- من الضروري جداً في مثل هذا العمل وجود تقنيات عالية كوجود مولد للمعلقات الهوائية (aerosols generator) يحافظ على تركيز ثابت من المعلقات الهوائية خلال زمن التعريض.

2- ضرورة البحث عن تقنية جديدة تسمح بقياس تركيز منتجات تفكك الرادون دون الإخلال بالتوازن الحاصل، الذي يؤثر بشكل كبير على قيمة معامل التوازن وعلى تركيز الآثار المسجلة على الكواشف البلاستيكية.

3- إن الرطوبة هي من العوامل الهامة التي تؤثر على معامل التوازن، لذا يمكن توسيع هذه الدراسة لتشمل هذا العامل.

4- يعتبر الدخان من العوامل الهامة المؤثرة بشكل كبير على قيمة معامل التوازن، وعليه يمكن إيجاد بعض الطرائق لإدخال أنواع من الدخان ودراسة تأثيره على معامل التوازن.

5- يمكن توسيع هذا العمل بدراسة نسبة تركيز الآثار المسجلة على الكواشف الخارجية إلى المسجلة على الكواشف الداخلية (D/D_0) باستخدام تركيز ثابت من غاز الرادون في خلية عيارية خاصة لدراسة معامل التوازن.

6- يعتبر كل من الترسيب، الالتصاق بالمعلقات الهوائية والحجب (shielding) (ترسب منتجات تفكك الرادون على سطح الكاشف) الخ... من العوامل التي تؤثر بشكل هام على قيمة معامل التوازن وعلى تركيز الآثار المسجلة على الكواشف الداخلية والخارجية والتي يمكن أن تتم دراستها لاحقاً بشكل مفصل.

7- يوجد عدة أنواع من كواشف الأثر النووي تمتلك بعض الخواص الهامة مثل كاشف (LR-115) الذي يمتلك مجال طاقي محدد، حيث يمكن الاستفادة من هذا المجال في دراسة طاقات جسيمات ألفا الناتجة عن الرادون ومنتجات تفككه.

8- محاولة إيجاد طريقة لدراسة الفرق بين تعداد الآثار المسجلة من غاز الرادون وتعداد الآثار المسجلة من منتجات تفككه كمحاولة تثبيت الكاشف مباشرة تحت الفلتر بحيث يسجل فقط الآثار الناتجة عن غاز الرادون والتحكم بأكبر شكل ممكن بالحجب الناتج عن منتجات تفكك الرادون على سطح الكاشف.


المراجع

المراجع

[1] UNSCEAR, 2000. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Sources and effects of Ionizing Radiation, vol. 1. United Nations, New York.

[2] http://4sa.cn/MOSOAA/nawawy/index-noowy/nucard.htm

[3] د.مكي الحسني. المدخل إلى الفيزياء النووية. جامعة دمشق.1982

[4] د.سامي حداد. هيئة الطاقة الذرية السورية، محاضرات دبلوم الوقاية الإشعاعية 2006

[5] NCRP Report 39، Ionizing Radiation exposure of the population of the united state (1987)

[6] الين ارلو، هيئة الطاقة الذرية الفرنسية، مقالة مترجمة إلى العربية، عالم الذرة العدد 13، الرادون في المنازل، عام 1991.

[7] Saeed A. Durrani & Radomir Ilic. (1997), "Radon measurement by etched track detectors: applications in radiation protection, earth sciences, and environment "

[8] W. M. Lowder and K. M. Miller, et al. (1993), " Fifth International Symposium on the Natural Radiation Environment", Published by : Commission of the European Communities.

[9] J.Porstendorfer and A. Reineking. (1992) "Indoor Behaviour and Characteristics of Radon Progeny", Radiation Protection Dosimetry., Vol. 45 No. 1/4 pp.303-311.

[10] وقائع الدورة التدريبية حول الرادون والتلوث البيئي الإشعاعي نظمتها الهيئة العربية للطاقة الذرية بالإشتراك مع هيئة الطاقة الذرية السورية في دمشق للمدة (14-22/11/1993)

[11] Land and Water Resources Center. (1986). *Radon in Water and Air-Health, Risk, and Control Measures,* Orono, ME: Univ. of Maine.

[12] Hursh J. B., et al., (1965), The fate of radon ingested by man. *Health Phys.,*

[13] McPherson R. B., (1980), Environmental Radon and radon daughter dosimetry in the respiratory tract. Health Phys., 39, 929-936.

[14] Crawford-Brown D. J., (1987), Age-dependent lung doses from ingested Rn-222 in drinking water. *Health Phys.,* 52, 149-156.

[15] Planinic J., Faj Z., "Equilibrium Factor and Dosimetry OF Rn BY A NUCLAER TRACK DETECTOR", Health Phys Vol. 59, No. 3 (September), pp. 349-351, 1990.

[16] Mauricio, C. L. P.; Taunhata, L.; Bertelli, L. Interna dosimetry for radon and radon daughters. Radiat. Prot. Dosim. 11:249-255;1985.

[17] Holub R. F., et al. (1985). Radon-222 and Rn-222 progeny concentrations measured in an energy-efficient house equipped with a heat exchanger. Health Physic., 49, 267-277.

[18] Shweikani R., Badr I., Maged A.F., Andam A.A. and Durrani A.S A new "calibrated chamber for parametric studies of radon and thoron gases Radiation Measurements", 25, 613-61.

[19] Nuclear Energy Agency (NEA), (1985), Metrology and monitoring of radon, thoron and their daughter products, Nuclear Energy Agency OCED, Paris.

[20] Nevissi, A.E., (1987), Methods for detection of radon and radon daughters. In Indoor radon and its hazards, University of Washington Press, 30.

[21] مشروع تخرج يعد لنيل درجة الماجستير في الوقاية الإشعاعية وأمان المصادر المشعة وأمنها. كلية العلوم. جامعة دمشق. إعداد هنادي إبراهيم بدران. إشراف د. رياض شويكاني. دمشق. 2007–2009.

[22] Lucas, H. F., (1957), "Improved low-level alpha-scintillation counter for radon"; Rev. Sci. Instrum., 28, 68.

[23] Kunsetz H. L., (1956), Am. Ind. Hyg. Assoc. J. Qart., 17, 85.

[24] Durrani S. A and Ilic R., (1997), "Radon measurements by etched Track Detectors", published by: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

[25] Budnitz R. J., (1974), Health Phys., 26, 145.

[26] Rad Elec,Inc E-PERM system manual.

[27] Shweikani R., Raja G., Desing Conturuct and test of a calibration Radon Chamber, Radiation Measurements, 2005

الملحقات

الــمـــلــحـــق(1)

عند إدخال العنصر المشع إلى داخل الجسم فإنه سيخضع كأي مادة أخرى إلى التفاعل البيولوجي ونتيجة للعمليات البيولوجية فإن جزءاً من العنصر المشع سيتم طرحه خارج الجسم باستمرار أي أن عملية التناقص في النشاط الإشعاعي للمادة المشعة الموجودة في عضو من أعضاء الجسم تتم بطريقتين:

- التفكك الفيزيائي وقد درسناه سابقاً وهو الزمن اللازم لتفكك عدد الذرات الأصلية (أو لكي يصل إلى نصف نشاطه) يعرف باسم نصف العمر الفيزيائي T_p
- التفكك البيولوجي ويعرف بأنه الزمن اللازم لكي يصل عنصر المصدر إلى نصف عدد ذراته الأصلية (أو إلى نصف نشاطه) عن طريق امتصاصه في العمليات البيولوجية بعمر نصف البيولوجي T_b

وبناء على ذلك فإن الزمن اللازم لكي يضمحل العنصر المشع داخل الجسم إلى نصف عدد ذراته الأصلية يعرف باسم عمر النصف الفعال T_e، ولحساب مقدار الجرعة الإشعاعية الممتصة بواسطة مختلف أعضاء الجسم نتيجة امتصاصها للمواد المشعة فإن عمر النصف الفعال هو الذي يستخدم لهذا الغرض و هو يساوي:

$$\frac{1}{T_e} = \frac{1}{T_p} + \frac{1}{T_b}$$

الـمــلـحــق(2)

معامل تنامي منتجات تفكك الرادون

FRACTION OF RADON REMAINING AFTER X HOURS

HOURS	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0
0.0	1.0000	.9924	.9850	.9776	.9702
5.0	.9629	.9557	.9485	.9413	.9343
10.0	.9273	.9202	.9133	.9065	.8996
15.0	.8929	.8862	.8795	.8729	.8663
20.0	.8598	.8533	.8469	.8405	.8342
25.0	.8279	.8217	.8155	.8094	.8033
30.0	.7973	.7913	.7853	.7793	.7735
35.0	.7677	.7619	.7562	.7505	.7449
40.0	.7393	.7337	.7282	.7227	.7173
45.0	.7119	.7065	.7012	.6959	.6907
50.0	.6855	.6803	.6752	.6701	.6651
55.0	.6601	.6551	.6502	.6453	.6405
60.0	.6356	.6309	.6261	.6214	.6167
65.0	.6121	.6075	.6029	.5984	.5939
70.0	.5894	.5850	.5806	.5762	.5719
75.0	.5676	.5633	.5591	.5549	.5507
80.0	.5465	.5424	.5384	.5543	.5303
85.0	.5263	.5223	.5184	.5145	.5106
90.0	.5068	.5030	.4992	.4954	.4917
95.0	.4880	.4843	.4807	.4771	.4735
100.0	.4699	.4664	.4629	.4594	.4559

الـمـلـحـق(3):

معامل كونستر

KUSNETZ FACTOR FOR WORKING LEVEL CALCULATIONS

TIME (MINUTES)	FACTOR
40	148
42	144
44	140
46	136
48	132
50	128
52	124
54	120
56	116
58	112
60	108
62	104
64	100
66	96
68	92
70	88
72	86
74	83
76	80
78	76
80	73
82	70
84	67
86	64
88	62
90	60

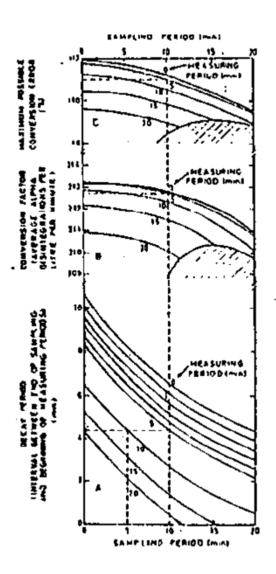
الـمـلـحـق(4)

TABLE - INTERVALS TO BE ALLOWED BETWEEN SELECTED SAMPLING AND MEASURING PERIODS

Sampling period can be read horizontally and measuring period vertically or vice rersa

Periods	0	1	2	3	4	5	10	15	20
20	4.34					2.12	0.71	*	*
15	5.29					3.07	1.36	0.076	
10	6.57					4.35	2.63		
5	8.28	7.79	7.33	6.88	6.46	6.06			
4	8.68	8.19	7.73	7.28	6.86				
3	9.11	8.62	8.15	7.17					
2	9.55	9.06	8.60	INTERVALS (min)					
1		9.53							

* Negative value: forbidden.



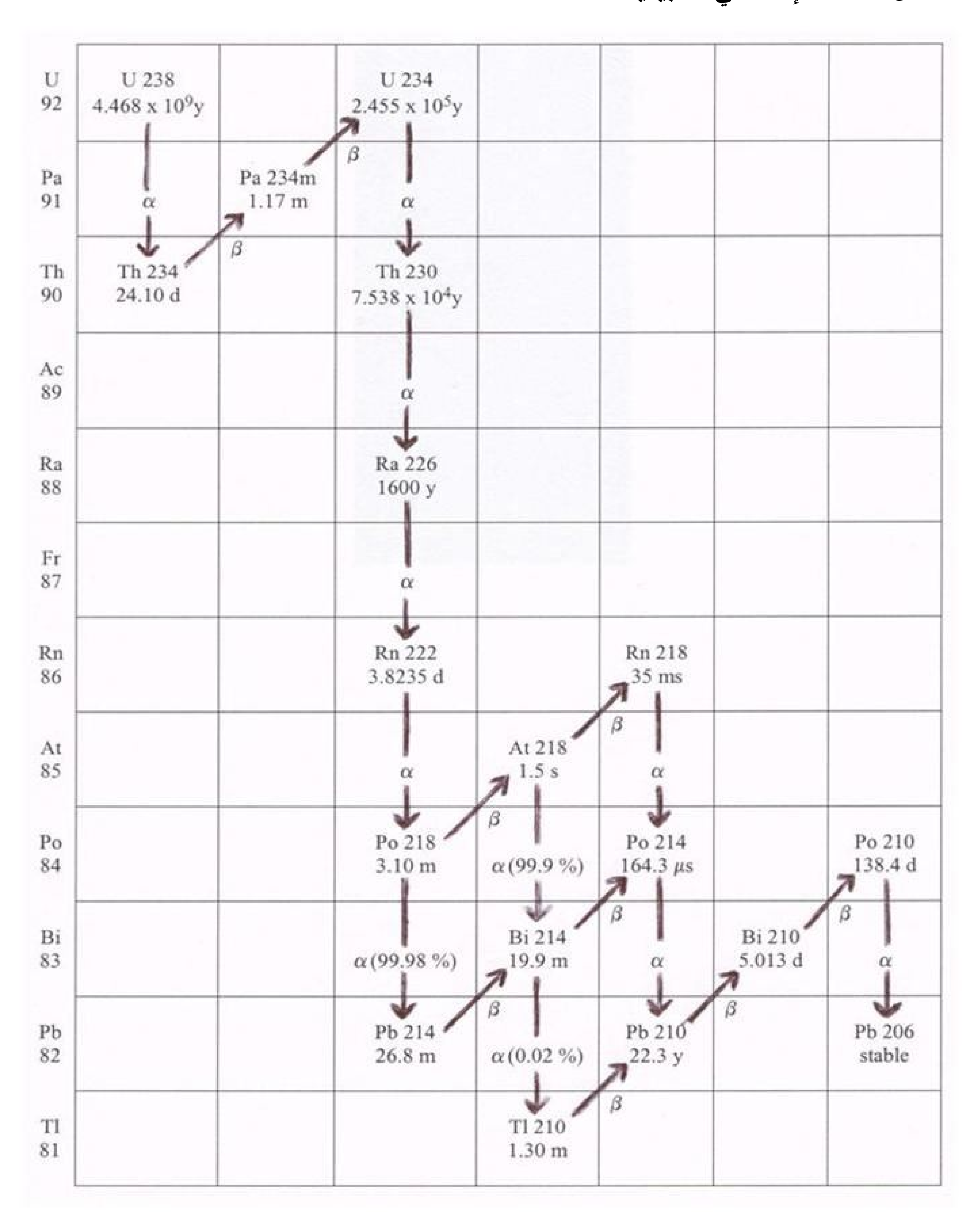
Associated parameters for rapid working level monitoring as a function of sampling and measuring periods. A - interval required between end of sampling period and start of measuring period : B - Factor for converting the ratio between total alpha disintegrations during measurement and measuring period in minutes into working level per litre; C - Maximum possible systematic error due only to the conversion factor.

Table A.1.: The Rolle method

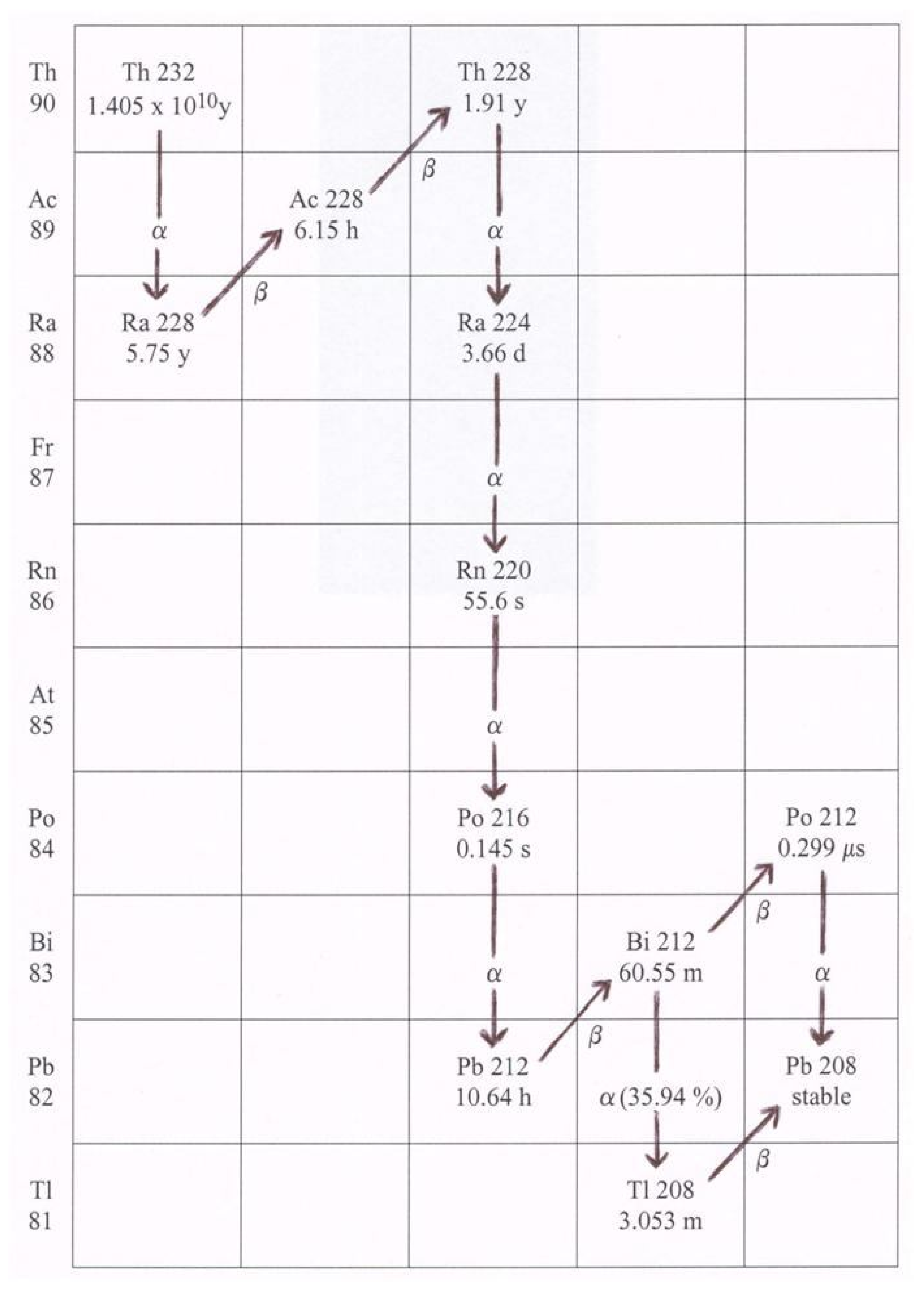
Sampling time (min)	Delay time (min)	Counting time (min)	Conversion factor	Error (±%)
4	6.46	5	213	12
5	6.06	5	213	11
10	4.35	5	213	11
15	1.36	10	212	10
20	2.12	5	210	10

الملحق (5)

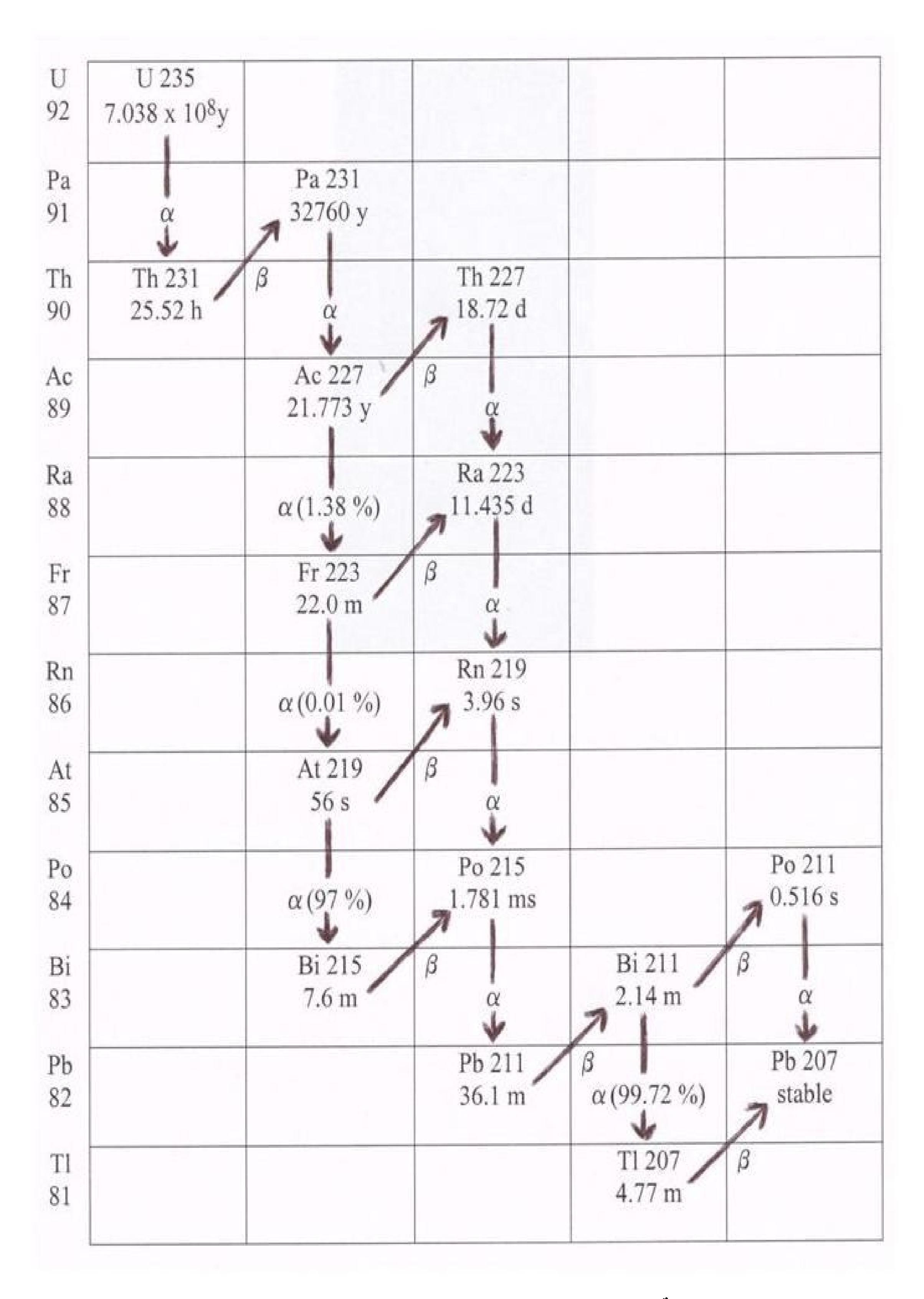
سلاسل التفكك الإشعاعي الطبيعية



الشكل (5-1): سلسلة تفكك اليورانيوم−238 مع توضيح نوع التفكك الرئيس وزمن عمر النصف



الشكل (2-5) سلسلة تفكك الثوريوم−232 مع توضيح نوع التفكك الرئيس وزمن عمر النصف.



الشكل (3-5): سلسلة تفكك اليورانيوم−235 مع توضيح نوع التفكك الرئيس وزمن عمر النصف

الملحق (6) يبين الجدول (6-1) قياسات المعايرة لجهاز AB5 وتواريخها.

معدل العد	C_6	C_5	C_4	C_3	C_2	C_1	تاريخ المعايرة
count/2min	2400	2404	2469	2314	2341	2313	26/02/2008
count/5min		11474	11494	11393	11367	11533	13/04/2009
count/1min	2244	2260	2202	2291	2283	2270	14/04/2009
count/1min	2393	2333	2160	2248	2173	2232	21/04/2009
count/1min		2269	2314	2273	2226	2237	10/05/2009
count/2min				4475	4431	4532	11/05/2009
count/2min	4338	4374	4285	4375	4443	4447	13/05/2009
count/2min			4542	4471	4519	4576	14/05/2009
count/2min	4426	4500	4419	4646	4403	4993	19/05/2009
count/2min	4522	4546	4467	4518	4559	4572	20/05/2009
count/2min			4573	4458	4499	4679	24/05/2009
count/2min				4551	4467	4604	25/05/2009
count/2min	4443	4483	4466	4467	4639	4515	27/05/2009
count/2min		4443	4374	4516	4571	4545	28/05/2009
count/2min				4544	4636	4533	14/06/2009
count/2min		4467	4609	4610	4617	4432	15/06/2009
count/2min	4473	4543	4536	4499	4500	4569	17/06/2009
count/2min				4574	4596	4521	22/06/2009
count/2min	4471	4375	4540	4452	4624	4599	23/06/2009
count/2min				4684	4675	4696	28/06/2009
count/2min			4489	4603	4674	4594	29/06/2009
count/2min				4697	4752	4494	30/06/2009
count/2min				4584	4751	4674	01/07/2009
count/2min		4574	4557	4605	4629	4667	05/07/2009
count/2min			4578	4468	4589	4609	06/07/2009
count/2min			4631	4536	4614	4631	08/07/2009
count/2min	4580	4588	4695	4791	4646	4614	09/07/2009
count/2min	4649	4442	4527	4640	4676	4730	12/07/2009
count/1min	2340	2432	2446	2411	2473	2478	02/09/2009
count/1min	2440	2416	2484	2418	2435	2397	09/09/2009
count/1min	2340	2387	2352	2313	2457	2326	22/09/2009
count/1min				2317	2390	2481	29/09/2009
count/1min	2348	2431	2367	2432	2426	2516	28/09/2009
count/1min	2426	2413	2488	2313	2313	2404	30/09/2009
count/1min	2389	2399	2388	2331	2408	2491	05/10/2009

count/1min	2396	2422	2374	2417	2421	2355	07/10/2009

الملحق (7) يبين الجدول (7-1) معايرات صفيحة الومضان (ZnS) باستخدام مصدر أمريشيوم.

معدل العد	C_6	C_5	C_4	C_3	C_2	C_1	تاريخ المعايرة
count/1min	387813	388622	387802	388580	388197	387209	07/09/2009
count/1min	383546	383607	383665	384048	384007	384015	08/09/2009
count/1min				389115	389904	388465	28/09/2009
count/1min	388213	388185	389055	389412	389397	388516	30/09/2009
count/1min		386676	387823	388046	388460	387797	01/10/2009
count/1min		386652	386694	385636	386626	386354	05/10/2009
count/1min		380125	380618	380712	380356	380130	07/10/2009

الملحق (8) الجدول (8-1) قياس BG خلية الومضان ZnS بجهاز AB5.

count/1min	18	7	30	12	17	12	14	9	14	12	12	07/09/2009
count/1min				21	10	8	20	12	10	22	22	08/09/2009
count/1min									18	20	15	28/09/2009
count/1min									14	16	13	29/09/2009
count/1min									16	21	19	29/09/2009
count/1min							19	26	16	16	22	30/09/2009
count/1min									26	19	25	01/10/2009
count/1min									39	53	47	05/10/2009
count/1min			19	32	22	36	30	26	26	22	28	07/10/2009
count/1min									32	34	24	08/10/2009
count/1min						37	30	24	30	22	33	01/10/2009

الملحق (9) معادلات ترسيب منتجات تفكك الرادون على الفلتر

$$x = I_1 \cdot \frac{(b_2 \cdot c_3 - b_3 \cdot c_2)}{a_1 \cdot (b_2 \cdot c_3 - c_2 \cdot b_3) + a_2 \cdot (c_1 \cdot b_3 - b_1 \cdot c_3) + a_3 \cdot (b_1 \cdot c_2 - c_1 \cdot b_2)} \ldots$$
$$+ I_2 \cdot \frac{(b_3 \cdot c_1 - b_1 \cdot c_3)}{a_1 \cdot (b_2 \cdot c_3 - c_2 \cdot b_3) + a_2 \cdot (c_1 \cdot b_3 - b_1 \cdot c_3) + a_3 \cdot (b_1 \cdot c_2 - c_1 \cdot b_2)} \ldots$$
$$+ I_3 \cdot \frac{(c_2 \cdot b_1 - b_2 \cdot c_1)}{a_1 \cdot (b_2 \cdot c_3 - c_2 \cdot b_3) + a_2 \cdot (c_1 \cdot b_3 - b_1 \cdot c_3) + a_3 \cdot (b_1 \cdot c_2 - c_1 \cdot b_2)}$$

$$y = I_1 \cdot \frac{a_3 \cdot c_2 - a_2 \cdot c_3}{a_1 \cdot (b_2 \cdot c_3 - b_3 \cdot c_2) + a_2 \cdot (b_3 \cdot c_1 - b_1 \cdot c_3) + a_3 \cdot (b_1 \cdot c_2 - b_2 \cdot c_1)} \ldots$$
$$+ I_2 \cdot \frac{a_1 \cdot c_3 - a_3 \cdot c_1}{a_1 \cdot (b_2 \cdot c_3 - b_3 \cdot c_2) + a_2 \cdot (b_3 \cdot c_1 - b_1 \cdot c_3) + a_3 \cdot (b_1 \cdot c_2 - b_2 \cdot c_1)} \ldots$$
$$+ I_3 \cdot \frac{a_2 \cdot c_1 - a_1 \cdot c_2}{a_1 \cdot (b_2 \cdot c_3 - b_3 \cdot c_2) + a_2 \cdot (b_3 \cdot c_1 - b_1 \cdot c_3) + a_3 \cdot (b_1 \cdot c_2 - b_2 \cdot c_1)}$$

$$z = I_1 \cdot \frac{a_3 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_3}{a_1 \cdot (b_3 \cdot c_2 - b_2 \cdot c_3) + a_2 \cdot (b_1 \cdot c_3 - b_3 \cdot c_1) + a_3 \cdot (b_2 \cdot c_1 - b_1 \cdot c_2)} \ldots$$
$$+ I_2 \cdot \frac{a_1 \cdot b_3 - a_3 \cdot b_1}{a_1 \cdot (b_3 \cdot c_2 - b_2 \cdot c_3) + a_2 \cdot (b_1 \cdot c_3 - b_3 \cdot c_1) + a_3 \cdot (b_2 \cdot c_1 - b_1 \cdot c_2)} \ldots$$
$$+ I_3 \cdot \frac{b_1 \cdot a_2 - a_1 \cdot b_2}{a_1 \cdot (b_3 \cdot c_2 - b_2 \cdot c_3) + a_2 \cdot (b_1 \cdot c_3 - b_3 \cdot c_1) + a_3 \cdot (b_2 \cdot c_1 - b_1 \cdot c_2)}$$

حيث:

$$a_1 = \left(e^{-\lambda_1 \cdot t_1} - e^{-\lambda_1 \cdot t_2}\right)\left(1 - e^{-\lambda_1 \cdot T}\right)\left[\frac{1}{\lambda_1} + \frac{\lambda_2}{(\lambda_3 - \lambda_1)\cdot(\lambda_2 - \lambda_1)}\right] \ldots$$

$$+\left(e^{-\lambda_2 \cdot t_1} - e^{-\lambda_2 \cdot t_2}\right)\left(1 - e^{-\lambda_2 \cdot T}\right)\cdot\frac{-\lambda_1}{(\lambda_3 - \lambda_2)\cdot(\lambda_2 - \lambda_1)} \ldots$$

$$+\left(e^{-\lambda_3 \cdot t_1} - e^{-\lambda_3 \cdot t_2}\right)\cdot\left(e^{-\lambda_3 \cdot T} - 1\right)\cdot\left[\frac{\lambda_2}{(\lambda_3 - \lambda_1)\cdot(\lambda_2 - \lambda_1)} - \frac{\lambda_1}{(\lambda_3 - \lambda_2)\cdot(\lambda_2 - \lambda_1)} - \frac{1}{\lambda_3}\right]$$

$$b_1 = \left(e^{-\lambda_2 \cdot t_1} - e^{-\lambda_2 \cdot t_2}\right)\cdot\left(\frac{1 - e^{-\lambda_2 \cdot T}}{\lambda_3 - \lambda_2}\right) + \left(e^{-\lambda_3 \cdot t_1} - e^{-\lambda_3 \cdot t_2}\right)\cdot\left(e^{-\lambda_3 \cdot T} - 1\right)\cdot\frac{\lambda_2}{\lambda_3\cdot(\lambda_3 - \lambda_2)}$$

$$c_1 = \left(e^{-\lambda_3 \cdot t_1} - e^{-\lambda_3 \cdot t_2}\right)\cdot\left(\frac{1 - e^{-\lambda_3 \cdot T}}{\lambda_3}\right)$$

$$a_2 = \left(e^{-\lambda_1 \cdot t_3} - e^{-\lambda_1 \cdot t_4}\right)\left(1 - e^{-\lambda_1 \cdot T}\right)\left[\frac{1}{\lambda_1} + \frac{\lambda_2}{(\lambda_3 - \lambda_1)\cdot(\lambda_2 - \lambda_1)}\right] \ldots$$

$$+\left(e^{-\lambda_2 \cdot t_3} - e^{-\lambda_2 \cdot t_4}\right)\left(1 - e^{-\lambda_2 \cdot T}\right)\cdot\frac{-\lambda_1}{(\lambda_3 - \lambda_2)\cdot(\lambda_2 - \lambda_1)} \ldots$$

$$+\left(e^{-\lambda_3 \cdot t_3} - e^{-\lambda_3 \cdot t_4}\right)\cdot\left(e^{-\lambda_3 \cdot T} - 1\right)\cdot\left[\frac{\lambda_2}{(\lambda_3 - \lambda_1)\cdot(\lambda_2 - \lambda_1)} - \frac{\lambda_1}{(\lambda_3 - \lambda_2)\cdot(\lambda_2 - \lambda_1)} - \frac{1}{\lambda_3}\right]$$

$$b_2 = \left(e^{-\lambda_2 \cdot t_3} - e^{-\lambda_2 \cdot t_4}\right)\cdot\left(\frac{1 - e^{-\lambda_2 \cdot T}}{\lambda_3 - \lambda_2}\right) + \left(e^{-\lambda_3 \cdot t_1} - e^{-\lambda_3 \cdot t_2}\right)\cdot\left(e^{-\lambda_3 \cdot T} - 1\right)\cdot\frac{\lambda_2}{\lambda_3\cdot(\lambda_3 - \lambda_2)}$$

$$c_2 = \left(e^{-\lambda_3 \cdot t_3} - e^{-\lambda_3 \cdot t_4}\right)\cdot\left(\frac{1 - e^{-\lambda_3 \cdot T}}{\lambda_3}\right)$$

$$a_3 = \left(e^{-\lambda_1 \cdot t_5} - e^{-\lambda_1 \cdot t_6}\right)\left(1 - e^{-\lambda_1 \cdot T}\right)\left[\frac{1}{\lambda_1} + \frac{\lambda_2}{(\lambda_3 - \lambda_1)\cdot(\lambda_2 - \lambda_1)}\right] \ldots$$

$$+\left(e^{-\lambda_2 \cdot t_5} - e^{-\lambda_2 \cdot t_6}\right)\left(1 - e^{-\lambda_2 \cdot T}\right)\cdot\frac{-\lambda_1}{(\lambda_3 - \lambda_2)\cdot(\lambda_2 - \lambda_1)} \ldots$$

$$+\left(e^{-\lambda_3 \cdot t_5} - e^{-\lambda_3 \cdot t_6}\right)\cdot\left(e^{-\lambda_3 \cdot T} - 1\right)\cdot\left[\frac{\lambda_2}{(\lambda_3 - \lambda_1)\cdot(\lambda_2 - \lambda_1)} - \frac{\lambda_1}{(\lambda_3 - \lambda_2)\cdot(\lambda_2 - \lambda_1)} - \frac{1}{\lambda_3}\right]$$

$$b_3 = \left(e^{-\lambda_2 \cdot t_5} - e^{-\lambda_2 \cdot t_6}\right)\cdot\left(\frac{1 - e^{-\lambda_2 \cdot T}}{\lambda_3 - \lambda_2}\right) + \left(e^{-\lambda_3 \cdot t_5} - e^{-\lambda_3 \cdot t_6}\right)\cdot\left(e^{-\lambda_3 \cdot T} - 1\right)\cdot\frac{\lambda_2}{\lambda_3\cdot(\lambda_3 - \lambda_2)}$$

$$c_3 = \left(e^{-\lambda_3 \cdot t_5} - e^{-\lambda_3 \cdot t_6}\right)\cdot\left(\frac{1 - e^{-\lambda_3 \cdot T}}{\lambda_3}\right)$$